

日 本 国 特 許 庁  
PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日  
Date of Application:

1 9 9 9 年 3 月 3 日

出 願 番 号  
Application Number:

平成 1 1 年 特 許 願 第 0 5 6 2 3 6 号

出 願 人  
Applicant (s):

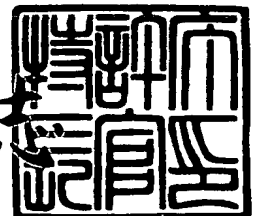
富士写真フイルム株式会社



1 9 9 9 年 8 月 3 0 日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Patent Office

伴 佐 山 建 志



出 証 番 号 出 証 特 平 1 1 - 3 0 6 0 9 8 1

【書類名】 特許願

【整理番号】 FSP-99035

【提出日】 平成11年 3月 3日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01S 3/00

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県足柄上郡開成町宮台 7 9 8 番地 富士写真フイルム株式会社内

【氏名】 羽鳥 正美

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県足柄上郡開成町宮台 7 9 8 番地 富士写真フイルム株式会社内

【氏名】 園田 慎一郎

【特許出願人】

【識別番号】 000005201

【氏名又は名称】 富士写真フイルム株式会社

【代理人】

【識別番号】 100079049

【弁理士】

【氏名又は名称】 中島 淳

【電話番号】 03-3357-5171

【選任した代理人】

【識別番号】 100084995

【弁理士】

【氏名又は名称】 加藤 和詳

【電話番号】 03-3357-5171

【選任した代理人】

【識別番号】 100085279

【弁理士】

【氏名又は名称】 西元 勝一

【電話番号】 03-3357-5171

【選任した代理人】

【識別番号】 100099025

【弁理士】

【氏名又は名称】 福田 浩志

【電話番号】 03-3357-5171

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 006839

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9800120

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光波長変換モジュール及び画像記録方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 バルク型波長変換結晶からなり、基本波を波長変換する光波長変換素子と、前記基本波としてこの光波長変換素子に入射されるレーザービームを発する半導体レーザーと、この半導体レーザーと前記光波長変換素子との間に配置され、該光波長変換素子の端面で反射して半導体レーザーにフィードバックするレーザービームの波長を選択する透過型の波長選択光学素子と、からなる光波長変換モジュール。

【請求項 2】 バルク型波長変換結晶からなり、基本波を波長変換する光波長変換素子と、前記基本波としてこの光波長変換素子に入射されるレーザービームを発する半導体レーザーと、前記光波長変換素子に入射する前の前記レーザービームを一部分岐させる光分岐手段と、この分岐されたレーザービームを反射させて前記半導体レーザーにフィードバックさせる反射部材と、前記半導体レーザーにフィードバックされるレーザービームの波長を選択する透過型の波長選択光学素子とからなる光波長変換モジュール。

【請求項 3】 バルク型波長変換結晶からなり、基本波を波長変換する光波長変換素子と、前記基本波としてこの光波長変換素子に入射されるレーザービームを発する半導体レーザーと、前記光波長変換素子から出射した前記レーザービームを反射させて前記半導体レーザーにフィードバックさせる反射部材と、前記半導体レーザーにフィードバックされるレーザービームの波長を選択する透過型の波長選択光学素子とからなる光波長変換モジュール。

【請求項 4】 前記光波長変換素子から出射した前記レーザービームと波長変換波とを分岐する光学系が設けられていることを特徴とする請求項 3 記載の光波長変換モジュール。

【請求項 5】 バルク型波長変換結晶からなり、基本波を波長変換する光波長変換素子と、前記基本波としてこの光波長変換素子に入射されるレーザービームを発する半導体レーザーと、この半導体レーザーから、前記光波長変換素子に向かわない後方出射光として出射したレーザービームを反射させて前記半導体レ

ーザーにフィードバックさせる反射部材と、前記半導体レーザーにフィードバックされるレーザービームの波長を選択する透過型の波長選択光学素子とからなる光波長変換モジュール。

【請求項 6】 バルク型波長変換結晶からなり、基本波を波長変換する光波長変換素子と、前記基本波としてこの光波長変換素子に入射されるレーザービームを発する半導体レーザーと、この半導体レーザーと前記光波長変換素子との間に配置され、前記レーザービームの一部を反射させて半導体レーザーにフィードバックするとともに、このフィードバックするレーザービームの波長を選択する反射型の波長選択光学素子とからなる光波長変換モジュール。

【請求項 7】 バルク型波長変換結晶からなり、基本波を波長変換する光波長変換素子と、前記基本波としてこの光波長変換素子に入射されるレーザービームを発する半導体レーザーと、前記光波長変換素子から出射した前記レーザービームを反射させて前記半導体レーザーにフィードバックするとともに、このフィードバックするレーザービームの波長を選択する反射型の波長選択光学素子とからなる光波長変換モジュール。

【請求項 8】 前記光波長変換素子から出射した前記レーザービームと波長変換波とを分岐する光学系が設けられていることを特徴とする請求項 7 記載の光波長変換モジュール。

【請求項 9】 バルク型波長変換結晶からなり、基本波を波長変換する光波長変換素子と、前記基本波としてこの光波長変換素子に入射されるレーザービームを発する半導体レーザーと、この半導体レーザーから、前記光波長変換素子に向かわない後方出射光として出射したレーザービームを反射させて前記半導体レーザーにフィードバックするとともに、このフィードバックするレーザービームの波長を選択する反射型の波長選択光学素子とからなる光波長変換モジュール。

【請求項 10】 前記波長選択光学素子が狭帯域バンドパスフィルターであることを特徴とする請求項 1 から 9 いずれか 1 項記載の光波長変換モジュール。

【請求項 11】 前記狭帯域バンドパスフィルターが薄膜型バンドパスフィルターであることを特徴とする請求項 10 記載の光波長変換モジュール。

【請求項 12】 前記薄膜型バンドパスフィルターが前記半導体レーザーの

光出射端面に形成されていることを特徴とする請求項 1 1 記載の光波長変換モジュール。

【請求項 1 3】 前記狭帯域バンドパスフィルターが、複屈折フィルターであることを特徴とする請求項 1 0 記載の光波長変換モジュール。

【請求項 1 4】 前記透過型の波長選択光学素子が薄膜型の狭帯域バンドパスフィルターであって、このバンドパスフィルターが前記反射部材の表面に形成されていることを特徴とする請求項 2 から 5 いずれか 1 項記載の光波長変換モジュール。

【請求項 1 5】 前記波長選択光学素子がバルクグレーティングであることを特徴とする請求項 1 から 9 いずれか 1 項記載の光波長変換モジュール。

【請求項 1 6】 前記反射型の波長選択光学素子が、コアに複数の屈折率変化部が等間隔に形成された光ファイバーからなるファイバグレーティングであることを特徴とする請求項 6 から 9 いずれか 1 項記載の光波長変換モジュール。

【請求項 1 7】 前記ファイバグレーティングに入射するレーザービームをこのファイバグレーティングのコア端面上で収束させる収束光学系が設けられていることを特徴とする請求項 1 6 記載の光波長変換モジュール。

【請求項 1 8】 前記半導体レーザーが前記光波長変換素子の端面に結合されていることを特徴とする請求項 1 から 1 7 いずれか 1 項記載の光波長変換モジュール。

【請求項 1 9】 バルク型波長変換結晶からなり、基本波を波長変換する光波長変換素子と、この光波長変換素子の端面に結合され、前記基本波としてこの光波長変換素子に入射されるレーザービームを発する半導体レーザーと、この半導体レーザーの光出射面と前記光波長変換素子の端面との間に配置され、該光波長変換素子の端面で反射して半導体レーザーにフィードバックするレーザービームの波長を選択する透過型の薄膜狭帯域バンドパスフィルターとからなる光波長変換モジュール。

【請求項 2 0】 バルク型波長変換結晶からなり、基本波を波長変換する光波長変換素子と、この光波長変換素子の端面に結合され、前記基本波としてこの光波長変換素子に入射されるレーザービームを発する半導体レーザーと、この半

導体レーザーの光出射面と前記光波長変換素子の端面との間に配置され、前記レーザービームの一部を反射させて半導体レーザーにフィードバックするとともに、このフィードバックするレーザービームの波長を選択する反射型の薄膜狭帯域バンドパスフィルターとからなる光波長変換モジュール。

【請求項 21】 前記バルク型波長変換結晶が、 $MgO$ あるいは $ZnO$ がドープされた $LiNbO_3$ 、 $MgO$ あるいは $ZnO$ がドープされた $LiTaO_3$ 、 $LiNbO_3$ 、 $LiTaO_3$ 、 $KTiOPO_4$ 、 $KNbO_3$ であることを特徴とする請求項 1 から 20 いずれか 1 項記載の光波長変換モジュール。

【請求項 22】 前記バルク型波長変換結晶が、自発分極の向きを反転させたドメイン反転部が周期的に形成されてなり、該ドメイン反転部の並び方向に導波する基本波を波長変換する周期反転ドメイン結晶であることを特徴とする請求項 1 から 21 いずれか 1 項記載の光波長変換モジュール。

【請求項 23】 前記半導体レーザーが、出力 300 mW 以上の高出力半導体レーザーであることを特徴とする請求項 1 から 22 いずれか 1 項記載の光波長変換モジュール。

【請求項 24】 前記半導体レーザーが、単峰性の空間モードで出力する半導体レーザーであることを特徴とする請求項 1 から 23 いずれか 1 項記載の光波長変換モジュール。

【請求項 25】 前記光波長変換素子から出射した前記レーザービームを強度変調する光変調手段を備えたことを特徴とする請求項 1 から 24 いずれか 1 項記載の光波長変換モジュール。

【請求項 26】 前記半導体レーザーの駆動電流を変化させて前記半導体レーザーから発せられた基本波を強度変調することにより、前記光波長変換素子から出射した前記レーザービームを強度変調する光変調手段を備えたことを特徴とする請求項 1 から 24 いずれか 1 項記載の光波長変換モジュール。

【請求項 27】 前記光波長変換素子から出射した前記レーザービームをパルス変調する光変調手段を備えたことを特徴とする請求項 1 から 24 いずれか 1 項記載の光波長変換モジュール。

【請求項 28】 連続調画像を示す画像信号に基づいて記録光を強度変調ま

たはパルス変調する光変調手段と前記強度変調またはパルス変調を受けた記録光を非線形光学効果により波長変換する光波長変換手段とを含む光波長変換モジュールと、波長変換された記録光を記録材料上において走査させる走査手段と、を備えた光走査記録装置であって、

前記光波長変換モジュールとして、請求項 25 から 27 いずれか 1 項記載の光波長変換モジュールを用いたことを特徴とする光走査記録装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光波長変換素子を用いて基本波を第 2 高調波等に変換する光波長変換モジュールとこれを用いた光走査記録装置に関し、特に詳細には、バルク型波長変換結晶からなる光波長変換素子を用いた光波長変換モジュールとこれを用いた光走査記録装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

従来、基本波を第 2 高調波等に波長変換する方法が種々提案されており、例えば、Bleombergenらによって、自発分極（ドメイン）を周期的に反転させた領域を設けた光波長変換素子を用いて基本波を第 2 高調波に波長変換する方法が既に提案されている（Phys. Rev., vol. 127, No. 6, 1918 (1962) 参照）。

波長変換効率は、概ね励起光である基本波との相互作用長すなわち結晶長と励起光のパワー密度の二乗に比例する。高い変換効率を得るため励起光の光ビーム径を波長変換結晶の中で細く絞ると、光パワー密度が上がり変換効率は高くなる。しかしその一方、細いビームは伝搬するに従い急激に広がるため、パワー密度が高い領域の相互作用長が短くなり、変換効率は低下する。すなわちパワー密度と作用長とはトレードオフの関係にある。この関係により、バルク型波長変換結晶による波長変換素子は、基本波のビーム径が数  $10\ \mu\text{m}$  のとき変換効率が比較的高いことが知られている。この数  $10\ \mu\text{m}$  のビームを例えば  $1\text{mm}$  角程度の波長変換結晶に入力し光学調整を行うことは容易であり、部品点数も少なく安価な光源が可能となる。このため銀塩写真感光材料用のレーザービームプリンターや



光記録用レーザー光源等の分野でその開発が期待されている。しかしながら、数  $10\ \mu\text{m}$  とビーム径が太いため、細いビーム径が可能な光導波路型の光波長変換素子に比べて、高い波長変換効率が得られないという問題がある。

#### 【0003】

また、第2高調波を発生させるためには、半導体レーザーから発せられた基本波の波長の揺らぎを  $0.5\ \text{nm}$  の範囲で安定化する必要があり、この波長許容範囲を外れる場合には、半導体レーザーの波長変動により第2高調波の出力が変動する。一般に使用される励起型半導体レーザーの発振波長は、駆動電流の変化や環境温度の変化、さらには微小な戻り光によってさえ数  $\text{nm}$  変動する。このため、半導体レーザーを光源として用いた光波長変換素子においては、第2高調波を発生させるとその出力光量が増減し、連続して出力することができないという問題がある。

#### 【0004】

さらに、上記の周期ドメイン反転構造を有する光波長変換素子の場合には、半導体レーザーの発振波長がドメイン反転部の周期と位相整合する波長と一致していないと、波長変換効率は著しく低いものとなり、実用性のある短波長光源を得ることは困難となる。

#### 【0005】

##### 【発明が解決しようとする課題】

本発明は、バルク型波長変換結晶からなる光波長変換素子により半導体レーザーから発せられたレーザービームを波長変換する光波長変換モジュールにおける上記の事情に鑑みてなされたものであり、本発明の第1の目的は、半導体レーザーの発振波長を正確にロックし、波長変換後の光を安定して発振させることができるバルク型波長変換結晶からなる光波長変換素子を用いた光波長変換モジュールを提供することにある。本発明の第2の目的は、バルク型波長変換結晶からなる光波長変換素子を用いた高出力の光波長変換モジュールを提供することにある。本発明の第3の目的は、さらに波長変換光の強度を変調する光変調手段を備えた光波長変換モジュールを提供することにある。本発明の第4の目的は、本発明の光波長変換モジュールを用い、記録光のダイナミックレンジを極めて大きく取

ることができて、高階調の画像を記録できる光走査記録装置を提供することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】

本発明による1つの光波長変換モジュールは、バルク型波長変換結晶からなり、基本波を波長変換する光波長変換素子と、前記基本波としてこの光波長変換素子に入射されるレーザービームを発する半導体レーザーと、この半導体レーザーと前記光波長変換素子との間に配置され、該光波長変換素子の端面で反射して半導体レーザーにフィードバックするレーザービームの波長を選択する透過型の波長選択光学素子とからなることを特徴とするものである。

【0007】

また、本発明による別の光波長変換モジュールは、上記と同様の光波長変換素子および半導体レーザーに加えて、前記光波長変換素子に入射する前の基本波としてのレーザービームを一部分岐させる光分岐手段と、この分岐されたレーザービームを反射させて半導体レーザーにフィードバックさせる反射部材と、半導体レーザーにフィードバックされるレーザービームの波長を選択する透過型の波長選択光学素子とが設けられてなるものである。

【0008】

また、本発明によるさらに別の光波長変換モジュールは、上記と同様の光波長変換素子および半導体レーザーに加えて、光波長変換素子から出射した基本波としてのレーザービームを反射させて半導体レーザーにフィードバックさせる反射部材と、半導体レーザーにフィードバックされるレーザービームの波長を選択する透過型の波長選択光学素子とが設けられてなるものである。

【0009】

なお、この光波長変換モジュールにおいては、光波長変換素子から出射したレーザービームと波長変換波とを分岐する光学系が設けられるのが望ましい。

【0010】

また、本発明によるさらに別の光波長変換モジュールは、上記と同様の光波長変換素子および半導体レーザーに加えて、半導体レーザーから、光波長変換素子

に向かわない後方出射光として出射したレーザービームを反射させて半導体レーザーにフィードバックさせる反射部材と、半導体レーザーにフィードバックされるレーザービームの波長を選択する透過型の波長選択光学素子とが設けられてなるものである。

## 【0 0 1 1】

また、本発明によるさらに別の光波長変換モジュールは、上記と同様の光波長変換素子および半導体レーザーに加えて、この半導体レーザーと光波長変換素子との間に配置され、レーザービームの一部を反射させて半導体レーザーにフィードバックするとともに、このフィードバックするレーザービームの波長を選択する反射型の波長選択光学素子が設けられてなるものである。

## 【0 0 1 2】

また、本発明によるさらに別の光波長変換モジュールは、上記と同様の光波長変換素子および半導体レーザーに加えて、光波長変換素子から出射した基本波としてのレーザービームを反射させて半導体レーザーにフィードバックするとともに、このフィードバックするレーザービームの波長を選択する反射型の波長選択光学素子が設けられてなるものである。

## 【0 0 1 3】

なお、この光波長変換モジュールにおいては、光波長変換素子から出射した上記レーザービームと波長変換波とを分岐する光学系が設けられるのが望ましい。

## 【0 0 1 4】

また、本発明によるさらに別の光波長変換モジュールは、上記と同様の光波長変換素子および半導体レーザーに加えて、この半導体レーザーから、光波長変換素子に向かわない後方出射光として出射したレーザービームを反射させて半導体レーザーにフィードバックするとともに、このフィードバックするレーザービームの波長を選択する反射型の波長選択光学素子が設けられてなるものである。

## 【0 0 1 5】

なお、以上説明した透過型あるいは反射型の波長選択光学素子としては、例えば狭帯域バンドパスフィルターを好適に用いることができる。またその中でも、薄膜型のバンドパスフィルター、複屈折フィルターがより好ましい。

【0016】

上記薄膜型の狭帯域バンドパスフィルターを用いる場合は、それを半導体レーザーの光出射端面に形成するのが望ましい。また、前記透過型の波長選択光学素子としてこの薄膜型の狭帯域バンドパスフィルターを用いる場合は、該フィルターを、レーザービームを半導体レーザーにフィードバックさせる反射部材の表面に形成してもよい。

【0017】

また、以上説明した透過型あるいは反射型の波長選択光学素子として、バルクグレーティングを用いることもできる。

【0018】

他方、反射型の波長選択光学素子としては、コアに複数の屈折率変化部が等間隔に形成された光ファイバーからなるファイバークレーティングを用いることもできる。

【0019】

このようなファイバークレーティングを用いる場合は、基本波としてのレーザービームを、このファイバークレーティングのコア端面上で収束させる収束光学系が設けられるのが望ましい。

【0020】

他方、基本波としてのレーザービームを発する半導体レーザーは、光波長変換素子の端面に結合されるのが望ましい。

【0021】

このように、半導体レーザーを光波長変換素子の端面に結合させる場合は、透過型の波長選択光学素子として薄膜狭帯域バンドパスフィルターを用い、この薄膜狭帯域バンドパスフィルターを半導体レーザーの光出射面と光波長変換素子の端面との間に配置し、この端面で反射して半導体レーザーにフィードバックするレーザービームの波長を該フィルターによって選択するのが望ましい。

【0022】

また、上記のように半導体レーザーを光波長変換素子の端面に結合させる場合、反射型の波長選択光学素子として薄膜狭帯域バンドパスフィルターを用い、こ

の薄膜狭帯域バンドパスフィルターを半導体レーザーの光出射面と光波長変換素子の端面との間に配置し、このフィルターにより、基本波としてのレーザービームの一部を反射させて半導体レーザーにフィードバックするとともに、このフィードバックするレーザービームの波長を選択するのが望ましい。

## 【0023】

バルク型波長変換結晶としては、 $MgO$ あるいは $ZnO$ がドープされた $LiNbO_3$ 、 $MgO$ あるいは $ZnO$ がドープされた $LiTaO_3$ 、 $LiNbO_3$ 、 $LiTaO_3$ 、 $KTiOPO_4$ 、 $KNbO_3$ が好適に用いられる。また、バルク型波長変換結晶が、自発分極の向きを反転させたドメイン反転部が周期的に形成されており、該ドメイン反転部の並び方向に導波する基本波を波長変換する周期反転ドメイン結晶であることが望ましい。

## 【0024】

半導体レーザーとして出力300mW以上の高出力のものを用いることが望ましく、また、単峰性の空間モードで出力する半導体レーザーであることが望ましい。

## 【0025】

また、本発明によるさらに別の光波長変換モジュールは、上記と同様の光波長変換素子、半導体レーザー、および波長選択光学素子に加えて、光波長変換素子から出射した前記レーザービームを強度変調する光変調手段が設けられてなるものである。

## 【0026】

また、本発明によるさらに別の光波長変換モジュールは、上記と同様の光波長変換素子、半導体レーザー、および波長選択光学素子に加えて、前記半導体レーザーの駆動電流を変化させて前記半導体レーザーから発せられた基本波を強度変調することにより前記光波長変換素子から出射した前記レーザービームを強度変調する光変調手段が設けられてなるものである。

## 【0027】

また、本発明によるさらに別の光波長変換モジュールは、上記と同様の光波長変換素子、半導体レーザー、および波長選択光学素子に加えて、前記光波長変換

素子から出射した前記レーザービームをパルス変調する光変調手段が設けられているものである。

## 【0028】

本発明の光走査記録装置は、連続調画像を示す画像信号に基づいて記録光を強度変調またはパルス変調する光変調手段と前記強度変調またはパルス変調を受けた記録光を非線形光学効果により波長変換する光波長変換手段を含む光波長変換モジュールと、波長変換された記録光を記録材料上において走査させる走査手段とを備えた光走査記録装置であって、前記光変調手段及び光波長変換手段として、本発明の光波長変換モジュールを用いたことを特徴とするものである。

## 【0029】

本発明の光波長変換モジュールにおいては、半導体レーザーにフィードバックされるレーザービームを、狭帯域バンドパスフィルター、バルクグレーティングあるいはファイバーグレーティング等からなる波長選択光学素子を用いるようにしたので、半導体レーザーの発振波長を安定して所望値、例えば、ドメイン反転部の周期と位相整合する波長に選択、ロックすることができる。

## 【0030】

## 【発明の実施の形態】

以下、図面を参照して、本発明の実施の形態を説明する。

## 【0031】

図1は、本発明の第1の実施形態による光波長変換モジュールを示すものである。図示されるように、この光波長変換モジュールは、半導体レーザー（レーザーダイオード）10と、この半導体レーザー10から発散光状態で出射したレーザービーム11を平行光化するコリメーターレンズ12と、平行光化されたレーザービーム11を収束させる集光レンズ13と、これらのレンズ12および13の間に配置された波長選択光学素子としての狭帯域バンドパスフィルター14と、光波長変換素子15とを有している。

## 【0032】

光波長変換素子15は、非線形光学効果を有する強誘電体である  $\text{LiNbO}_3$  に  $\text{MgO}$  が例えば 5 mol% ドープされた（以下、 $\text{MgO-LN}$  と称する）結晶基板1

6に、そのZ軸と平行な自発分極の向きを反転させたドメイン反転部17が周期的に形成されてなる周期ドメイン反転構造が形成されてなるものである。

【0033】

周期ドメイン反転構造は、結晶基板16のX軸方向にドメイン反転部17が並ぶように形成され、その周期 $\Lambda$ は、MgO-LNの屈折率の波長分散を考慮し、950 nm近辺の波長に対して1次の周期となるように $4.7\mu\text{m}$ とされている。このような周期ドメイン反転構造は、例えば、図2に示される方法によって形成することができる。図2において、4はコロナワイヤー、7はアース、8は電源である。

【0034】

MgO-LN結晶基板16は単分極化処理がなされて厚さ0.5mmに形成され、最も大きい非線形光学定数 $d_{33}$ が有効に利用できるようにZ面で光学研磨されている。この光学研磨された+Z面16aは、図2(a)に示すように、所定の周期 $\Lambda = 4.7\mu\text{m}$ で繰り返す周期電極80が公知のフォトリソ法により設けられている。

【0035】

高圧電源8から-Z面16bに配置したコロナワイヤー4を介してMgO-LN結晶基板16にコロナ帯電により1kVの電圧を5分間印加した。MgO-LN結晶基板16の周期電極80に対向している部分81のみの分極が選択的に反転しドメイン反転部17となる。ドメイン反転部17は電場の向きに沿って成長し、最終的には図2(b)に示すように、MgO-LN結晶基板16を貫通するまで十分深く成長する。したがって、このドメイン反転部17とその他の部分とは、結晶基板16の深さ(厚さ)方向の長い領域に亘って互いに明確に区別して形成されることになる。

【0036】

次いで、MgO-LN結晶基板16のY面を切断、研磨した後、HF(フッ酸)と $\text{HNO}_3$ とが混合されてなるエッチング液を用いて選択エッチングを行った。そして、この基板16の断面(Y面)を観察したところ、周期電極80が形成されていた箇所において、 $\Lambda = 4.7\mu\text{m}$ の周期で-Z面16bから+Z面16aまで貫通する周期ドメイン反転部17が制御よく形成されているのが観察された。

【0037】

次に、上記MgO-LN結晶基板16の-X面および+X面を光学研磨すると、光波長変換素子15が完成する。

## 【0038】

そして、図1に示すように、半導体レーザー10から発せられた中心波長950 nmのレーザービーム11を集光レンズ13により集光して、光波長変換素子15の端面18aにおいて収束させる。それにより、この基本波としてのレーザービーム11が光波長変換素子15内に入射する。このレーザービーム11は光波長変換素子15を伝搬し、その周期ドメイン反転領域で位相整合（いわゆる疑似位相整合）して、波長が1/2つまり475 nmの第2高調波19に波長変換される。この第2高調波19も光波長変換素子15を伝搬し、端面18bから出射する。

## 【0039】

端面18bからは、波長変換されなかったレーザービーム11も発散光状態で出射し、第2高調波19とともにコリメーターレンズ20によって平行光化される。第2高調波19は、図示しないバンドパスフィルターやダイクロイックミラー等によってレーザービーム11と分離され、所定の用途に用いられる。

## 【0040】

本実施形態においては、光波長変換素子15の端面18aに、波長950 nmのレーザービーム11を一部反射させる所定のコーティングが施され、該端面18aで反射したレーザービーム11が半導体レーザー10にフィードバックされる。つまりこの装置では、上記端面18aと半導体レーザー10の後方端面（図1中の左方の端面）によって半導体レーザー10の外部共振器が構成されている。

## 【0041】

そしてこの外部共振器の中に配置された狭帯域バンドパスフィルター14により、そこを透過するレーザービーム11の波長が選択される。半導体レーザー10はこの選択された波長で発振し、選択波長は狭帯域バンドパスフィルター14の回転位置（図1中の矢印A方向の回転位置）に応じて変化するので、この狭帯域バンドパスフィルター14を適宜回転させることにより、半導体レーザー10の発振波長を、ドメイン反転部17の周期と位相整合する波長に選択、ロックすることができる。



## 【 0 0 4 2 】

次に、図 3 を参照して、本発明の第 2 の実施形態について説明する。なおこの図 3 において、図 1 中のものと同等の要素には同番号を付し、それらについての重複した説明は省略する（以下、同様）。

## 【 0 0 4 3 】

この第 2 の実施形態においては、コリメーターレンズ 12 と集光レンズ 13 との間にビームスプリッタ 82 が設けられ、光波長変換素子 15 に向かうレーザービーム 11 がこのビームスプリッタ 82 により一部分岐される。分岐されたレーザービーム 11 は狭帯域バンドパスフィルター 14 を透過した後、集光レンズ 84 によって収束し、その収束位置に配置されたミラー 85 において反射する。

## 【 0 0 4 4 】

反射したレーザービーム 11 は、それまでの光路を逆に辿って半導体レーザー 10 にフィードバックされる。つまりこの装置では、上記ミラー 85 と半導体レーザー 10 の後方端面（図 3 中の左方の端面）によって半導体レーザー 10 の外部共振器が構成されている。

## 【 0 0 4 5 】

そして、この外部共振器の中に配置された狭帯域バンドパスフィルター 14 により、フィードバックされるレーザービーム 11 の波長が選択される。半導体レーザー 10 はこの選択された波長で発振し、選択波長は狭帯域バンドパスフィルター 14 の回転位置（図 3 中の矢印 A 方向の回転位置）に応じて変化するので、この狭帯域バンドパスフィルター 14 を適宜回転させることにより、半導体レーザー 10 の発振波長を、ドメイン反転部 17 の周期と位相整合する波長に選択、ロックすることができる。

## 【 0 0 4 6 】

次に、図 4 を参照して、本発明の第 3 の実施形態について説明する。この第 3 の実施形態において、光波長変換素子 15 の結晶端面 18 b から出射した第 2 高調波 19 および、波長変換されなかったレーザービーム 11 は、コリメーターレンズ 20 によって平行光化される。平行光化された第 2 高調波 19 はダイクロイックミラー 21 で反射し、利用位置に導かれる。一方、波長変換されなかったレーザービーム 11 はダ

マイクロ鏡ミラー21および狭帯域バンドパスフィルタ14を透過し、集光レンズ22により集光されてミラー85上において収束する。

【0047】

ミラー85で反射したレーザービーム11は、それまでの光路を逆に辿って半導体レーザー10にフィードバックされる。つまりこの装置では、上記ミラー85と半導体レーザー10の後方端面（図4中の左方の端面）によって半導体レーザー10の外部共振器が構成されている。

【0048】

そして、この場合も、狭帯域バンドパスフィルタ14を矢印A方向に適宜回転させることにより、半導体レーザー10の発振波長を、ドメイン反転部17の周期と位相整合する波長に選択、ロックすることができる。

【0049】

次に、図5(a)を参照して、本発明の第4の実施形態について説明する。この第4の実施形態においては、光波長変換素子15に向かわないレーザービーム11R（後方出射光）が、コリメーターレンズ86によって平行光化される。平行光化されたレーザービーム11Rは狭帯域バンドパスフィルタ14を透過した後、集光レンズ84により集光されてミラー85上において収束する。

【0050】

ミラー85で反射したレーザービーム11Rは、それまでの光路を逆に辿って半導体レーザー10にフィードバックされる。つまりこの装置では、上記ミラー85と半導体レーザー10の前方端面（図5(a)中の右方の端面）によって半導体レーザー10の外部共振器が構成されている。

【0051】

そして、この外部共振器の中に配置された狭帯域バンドパスフィルタ14により、フィードバックされるレーザービーム11Rの波長が選択される。半導体レーザー10はこの選択された波長で発振し、選択波長は狭帯域バンドパスフィルタ14の回転位置（図5(a)中の矢印A方向の回転位置）に応じて変化するので、この狭帯域バンドパスフィルタ14を適宜回転させることにより、半導体レーザー10の発振波長を、ドメイン反転部17の周期と位相整合する波長に選択、ロックす

ることができる。

【0052】

この第4の実施形態と同様の構成の光波長変換モジュールにおいて、半導体レーザー10として、発振波長950nm、出力光量300mWと高出力の横シングルモード発振のレーザーを用い、狭帯域バンドパスフィルター14の半値幅を0.5nm、周期反転ドメイン結晶の長さを5mmとして、半導体レーザー10の発振波長をドメイン反転部17の周期と位相整合する波長に選択、ロックした。半導体レーザー10は、波長をロックする前は縦モードはマルチモード発振であったが、波長ロック後はほぼ一本の縦モード発振が確認された。また、この時、発振された第2高調波19についても1mWと実用域の出力光量が得られた。

【0053】

なお、半導体レーザーの駆動電流を増加させると、半導体レーザーの発振波長が約0.2nmの範囲で周期的に変動するのが観測された。この波長変動は、半導体レーザーのエタロンモードと外部共振器モードとにより形成された複合共振器モードが原因である。図6に示すように、半導体レーザーの出力光量は駆動電流の増加に伴って直線的に増加しているが、第2高調波の出力光量は、その漸近線が半導体レーザーの駆動電流の二乗に比例するように増加し、半導体レーザーの波長変動の影響を受けて周期的に増減を繰り返す特性を示した。

【0054】

ただし、この特性は再現性があるため、本発明の光波長変換モジュールを使用する際に特に問題になるものではない。

【0055】

なお、半導体レーザーの光波長変換素子とは反対側のコーティングの反射率をほぼ0%とすることにより、半導体レーザーのエタロンモードが消え、外部共振器モードのみになるため、半導体レーザーの発振波長が安定し、第2高調波の出力光量も駆動電流の二乗に比例して増加するようになる。

【0056】

また、狭帯域バンドパスフィルターとして複屈折フィルター40を用いることもできる。図5(b)に半導体レーザーとその後方に設けられた外部共振器部分を示

す。複屈折フィルター40は、一般にリオフィルターと称され、例えば、カルサイト（方解石）等の複屈折材料からなり、回動可能な保持部材に保持されて図中矢印R方向、つまりレーザービーム11Rのビーム軸を中心に回動自在とされており、この複屈折フィルター40を回動させれば、その回動位置に応じてレーザービーム11Rの波長が選択され、半導体レーザー10の発振波長を、ドメイン反転部17の周期と位相整合する波長に選択、ロックすることができる。

## 【0057】

なお、この複屈折フィルター40は、他の構成においても、狭帯域バンドパスフィルター14に代えて用いることができ、そのようにした場合も上記と同様の作用、効果を奏するものである。

## 【0058】

次に、図7を参照して、本発明の第5の実施形態について説明する。この第5の実施形態の光波長変換モジュールは、図1に示したものと比べると、狭帯域バンドパスフィルター14に代えて透過型のバルクグレーティング90が用いられている点が異なるものである。このバルクグレーティング90も波長選択光学素子として機能するものであり、それを矢印A方向に適宜回転させることにより、半導体レーザー10の発振波長を、ドメイン反転部17の周期と位相整合する波長に選択、ロックすることができる。

## 【0059】

なお、この透過型のバルクグレーティング90は、図3、図4、および図5に示した各構成においても、狭帯域バンドパスフィルター14に代えて用いることができ、そのようにした場合も上記と同様の作用、効果を奏するものである。

## 【0060】

次に、図8を参照して、本発明の第6の実施形態について説明する。この第6の実施形態の光波長変換モジュールは、図1に示したものと比べると、狭帯域バンドパスフィルター14に代えて、透過型の狭帯域薄膜バンドパスフィルター91が用いられた点が異なるものである。この狭帯域薄膜バンドパスフィルター91は、半導体レーザー10の光出射端面10a上に形成されている。

## 【0061】

この狭帯域薄膜バンドパスフィルター91は、薄膜の構成に応じた波長の光を選択的に透過させるものである。このような狭帯域薄膜バンドパスフィルター91を、光波長変換素子15の端面18aと半導体レーザー10の後方端面（図8中の左方の端面）によって構成される半導体レーザー10の外部共振器中に配置したことにより、半導体レーザー10の発振波長を、ドメイン反転部17の周期と位相整合する波長に選択、ロックすることができる。

## 【0062】

次に、図9を参照して、本発明の第7の実施形態について説明する。この第7の実施形態の光波長変換モジュールは、図8に示したものと比べると、透過型の狭帯域薄膜バンドパスフィルター91の配置位置が異なるものである。すなわちこの場合は、光波長変換素子15の端面18aを含む端面上に狭帯域薄膜バンドパスフィルター91が形成されている。

## 【0063】

この実施形態でも、狭帯域薄膜バンドパスフィルター91を、光波長変換素子15の端面18aと半導体レーザー10の後方端面（図9中の左方の端面）によって構成される半導体レーザー10の外部共振器中に配置したことにより、半導体レーザー10の発振波長を、ドメイン反転部17の周期と位相整合する波長に選択、ロックすることができる。

## 【0064】

次に、図10を参照して、本発明の第8の実施形態について説明する。この第8の実施形態の光波長変換モジュールは、図9に示したものと比べると、コリメーターレンズ12および集光レンズ13を省いた上で、半導体レーザー10の光出射端面10aを、透過型の狭帯域薄膜バンドパスフィルター91を介して長さ1mmの光波長変換素子15に直接的に結合した点が異なるものである。

## 【0065】

この実施形態でも、狭帯域薄膜バンドパスフィルター91を、光波長変換素子15の端面18aと半導体レーザー10の後方端面（図10中の左方の端面）によって構成される半導体レーザー10の外部共振器中に配置したことにより、半導体レーザー10の発振波長を、ドメイン反転部17の周期と位相整合する波長に選択、ロック

することができる。

【0066】

また、この第8の実施形態の光波長変換モジュールは、基本波を光波長変換素子に入射させる入射光学系が不要であるため、構成が簡単で、また光学的な調整も極めて容易なものとなる。

【0067】

上記のように半導体レーザー10を光波長変換素子15に結合する場合、透過型の狭帯域薄膜バンドパスフィルター91は半導体レーザー10と光波長変換素子15との間に限らず、例えば、光波長変換素子15の端面18b上に形成することも可能である。

【0068】

さらに、半導体レーザー10を光波長変換素子15に結合する場合、波長選択光学素子は上記透過型の狭帯域薄膜バンドパスフィルター91に限られるものではないことは勿論である。例えば、前述した図4の構成において、レンズ12および13を省いて半導体レーザー10を光波長変換素子15に直接結合することもできる。

【0069】

次に、図11を参照して、本発明の第9の実施形態について説明する。この第9の実施形態の光波長変換モジュールは、図4に示したものと比べると、狭帯域バンドパスフィルター14に代えて、透過型の狭帯域薄膜バンドパスフィルター91が用いられた点が異なるものである。この狭帯域薄膜バンドパスフィルター91は、光波長変換素子15の端面18b上に形成されている。

【0070】

この実施形態でも、狭帯域薄膜バンドパスフィルター91を、ミラー85と半導体レーザー10の後方端面（図11中の左方の端面）によって構成される半導体レーザー10の外部共振器中に配置したことにより、半導体レーザー10の発振波長を、ドメイン反転部17の周期と位相整合する波長に選択、ロックすることができる。

【0071】

次に、図12を参照して、本発明の第10の実施形態について説明する。この第10の実施形態の光波長変換モジュールは、図5に示したものと比べると、狭

帯域バンドパスフィルター14に代えて、透過型の狭帯域薄膜バンドパスフィルター91が用いられた点が異なるものである。この狭帯域薄膜バンドパスフィルター91は、ミラー85の反射面上に形成されている。

## 【0072】

この実施形態でも、狭帯域薄膜バンドパスフィルター91を、ミラー85と半導体レーザー10の前方端面（図12中の右方の端面）によって構成される半導体レーザー10の外部共振器中に配置したことにより、半導体レーザー10の発振波長を、ドメイン反転部17の周期と位相整合する波長に選択、ロックすることができる。

## 【0073】

なお、以上説明した透過型の狭帯域薄膜バンドパスフィルター91は、図3の構成において狭帯域バンドパスフィルター14に代えて用いることも勿論可能である。その場合、狭帯域薄膜バンドパスフィルター91は、例えば、ミラー85の反射面や、半導体レーザー10の前方端面（図3中の右方の端面）の上に形成すればよい。

## 【0074】

次に、図13を参照して、本発明の第11の実施形態について説明する。この第11の実施形態の光波長変換モジュールは、図3に示したものと比べると、ミラー85に代えて反射型のバルクグレーティング92が設けられ、そして狭帯域バンドパスフィルター14、集光レンズ84が省かれた点が異なるものである。

## 【0075】

上記反射型のバルクグレーティング92は、そこに入射したレーザービーム11を反射させる。つまりこの装置では、このバルクグレーティング92と半導体レーザー10の後方端面（図13中の左方の端面）によって半導体レーザー10の外部共振器が構成されている。またこのバルクグレーティング92は波長選択光学素子として機能するものであり、それを矢印A方向に適宜回転させることにより、半導体レーザー10の発振波長を、ドメイン反転部17の周期と位相整合する波長に選択、ロックすることができる。

## 【0076】

次に、図14を参照して、本発明の第12の実施形態について説明する。この

第12の実施形態の光波長変換モジュールは、図4に示したものと比べると、ミラー85に代えて反射型のバルクグレーティング92が設けられ、そして狭帯域バンドパスフィルター14、集光レンズ84が省かれた点が異なるものである。

## 【0077】

上記反射型のバルクグレーティング92は、そこに入射したレーザービーム11を反射させる。つまりこの装置では、このバルクグレーティング92と半導体レーザー10の後方端面（図14中の左方の端面）によって半導体レーザー10の外部共振器が構成されている。またこのバルクグレーティング92は波長選択光学素子として機能するものであり、それを矢印A方向に適宜回転させることにより、半導体レーザー10の発振波長を、ドメイン反転部17の周期と位相整合する波長に選択、ロックすることができる。

## 【0078】

次に、図15を参照して、本発明の第13の実施形態について説明する。この第13の実施形態の光波長変換モジュールは、図5に示したものと比べると、ミラー85に代えて反射型のバルクグレーティング92が設けられ、そして集光レンズ84および狭帯域バンドパスフィルター14が省かれた点が異なるものである。

## 【0079】

上記反射型のバルクグレーティング92は、そこに入射したレーザービーム11を反射させる。つまりこの装置では、このバルクグレーティング92と半導体レーザー10の前方端面（図15中の右方の端面）によって半導体レーザー10の外部共振器が構成されている。またこのバルクグレーティング92は波長選択光学素子として機能するものであり、それを矢印A方向に適宜回転させることにより、半導体レーザー10の発振波長を、ドメイン反転部17の周期と位相整合する波長に選択、ロックすることができる。

## 【0080】

なお、以上説明したような反射型のバルクグレーティング92に代えて、反射型の狭帯域薄膜バンドパスフィルターを用いることもできる。そのように形成された本発明の第14の実施形態を、図16を参照して説明する。この第14の実施形態の光波長変換モジュールは、図15に示したものと比べると、コリメーター



レンズ86および反射型のバルクグレーティング92を省いて、半導体レーザー10の後方端面10bに反射型の狭帯域薄膜バンドパスフィルター95を形成した点が異なるものである。

## 【0081】

なお、勿論ながら、上記図16の構成においてレンズ12および13を省いて、半導体レーザー10を光波長変換素子15に直接結合するようなことも可能である。

## 【0082】

次に、図17を参照して、本発明の第15の実施形態について説明する。この第15の実施形態の光波長変換モジュールは、図14に示したものと比べると、バルクグレーティング92に代えてファイバグレーティング23が設けられている点が異なるものである。

## 【0083】

光波長変換素子15の端面18bからは、波長変換されなかったレーザービーム11も発散光状態で出射し、コリメーターレンズ20によって平行光化される。平行光化された第2高調波19はダイクロイックミラー21で反射し、利用位置に導かれる。一方、波長変換されなかったレーザービーム11はダイクロイックミラー21を透過し、集光レンズ22により集光されてファイバグレーティング23の端面において収束する。

## 【0084】

このファイバグレーティング23は図18に詳しく示すように、クラッド23b内にそれよりも高屈折率のコア23cが埋め込まれてなり、そしてコア23cには複数の屈折率変化部が等間隔に形成された光ファイバーである。このファイバグレーティング23は、例えばクラッド外径が $125\mu\text{m}$ 、コア径が約 $10\mu\text{m}$ の光通信用光ファイバーのコア23cに、紫外域の波長 $248\text{nm}$ のエキシマレーザー光を用いて二光束干渉露光により干渉縞を形成させ、コア23cの光が照射された部分の屈折率を変化（上昇）させることにより作成される。なお、この屈折率変化は、コア23cにドーピングされている酸化ゲルマニウムが紫外線照射により化学変化を起こすことによって生じると考えられている。

## 【0085】

上記ファイバークレーティング23は、集光レンズ22を経たレーザービーム11の収束位置にコア端面23aが位置するように配設されている。そこでレーザービーム11はコア端面23aからコア23c内に入射し、そこを伝搬する。コア23cに形成された上記屈折率変化部は、レーザービーム11の伝搬方向に沿ったグレーティング（回折格子）を構成している。このグレーティングは、コア23cを伝搬する光ビームのうち、その周期 $\Lambda_{FG}$ に対応した特定波長の光のみを反射回折させ、光波長変換素子15を介して半導体レーザー10にフィードバックさせる。つまりこの装置では、コア23cに形成されたグレーティングと半導体レーザー10の後方端面（図17中の左方の端面）によって半導体レーザー10の外部共振器が構成されている。

## 【0086】

したがって、上記グレーティングの周期 $\Lambda_{FG}$ を所定値に設定しておくことにより、半導体レーザー10の発振波長を、ドメイン反転部17の周期と位相整合する波長に選択、ロックすることができる。

## 【0087】

次に、図19を参照して、本発明の第16の実施形態について説明する。この第16の実施形態の光波長変換モジュールにおいて、第2高調波19はダイクロイックミラー30を透過して利用位置に導かれ、レーザービーム11はこのダイクロイックミラー30で反射してファイバークレーティング23に導かれる。

## 【0088】

この場合も、ファイバークレーティング23のコアに形成されたグレーティングと半導体レーザー10の後方端面（図19中の左方の端面）によって半導体レーザー10の外部共振器が構成され、図17の装置におけるのと同様の効果が得られる。

## 【0089】

次に、図20を参照して、本発明の第17の実施形態について説明する。この第17の実施形態の光波長変換モジュールは、図17のものと比べると、波長変換されなかったレーザービーム11と第2高調波19とを分離する手段が異なるものである。すなわち本装置においては、ファイバークレーティング33として、前述

と同様の屈折率変化部を有する第 1 のファイバー 34 と、この第 1 のファイバー 34 に結合された第 2 のファイバー 35 とからなるものが用いられている。これら第 1 のファイバー 34 および第 2 のファイバー 35 は、波長選択ファイバーカップラを構成している。

## 【 0 0 9 0 】

光波長変換素子 15 から発散光状態で出射したレーザービーム 11 および第 2 高調波 19 は、収束光学系としての集光レンズ 31 により収束せしめられる。この収束位置には、ファイバークレーティング 33 の第 2 のファイバー 35 の一端面が配置されており、レーザービーム 11 および第 2 高調波 19 はこの第 2 のファイバー 35 に入射する。この第 2 のファイバー 35 に入射してそこを伝搬した第 2 高調波 19 は、該第 2 のファイバー 35 の他端面から発散光状態で出射し、コリメーターレンズ 20 によって平行光化された上で、利用位置に導かれる。

## 【 0 0 9 1 】

一方、第 2 のファイバー 35 に入射してそこを伝搬したレーザービーム 11 は、両ファイバー 34、35 の結合部分において第 1 のファイバー 34 の方に移り、該第 1 のファイバー 34 を伝搬してその屈折率変化部において反射回折する。反射回折したレーザービーム 11 は、第 2 のファイバー 35 および光波長変換素子 15 を介して半導体レーザー 10 にフィードバックされ、そこでこの場合も図 1 7 の装置におけるのと同様の効果が得られることになる。

## 【 0 0 9 2 】

なお上記とは反対に、集光レンズ 31 により収束したレーザービーム 11 および第 2 高調波 19 をまず第 1 のファイバー 34 に入射させ、該第 1 のファイバー 34 を伝搬する第 2 高調波 19 を第 2 のファイバー 35 の方に移すようにしてもよい。

## 【 0 0 9 3 】

以上説明した第 1-5、1 6 および 1 7 の実施形態はいずれも、光波長変換素子 15 から波長変換されずに出射した基本波としてのレーザービーム 11 をファイバークレーティングにより反射回折させるものであるが、次に、光波長変換素子 15 に入射する前のレーザービーム 11 をファイバークレーティングにより反射回折させるようにした 3 つの実施形態について説明する。

## 【0094】

図21は、本発明の第18の実施形態による光波長変換モジュールを示すものである。この光波長変換モジュールにおいて、半導体レーザー10から発散光状態で出射したレーザービーム11は、収束光学系としての集光レンズ40により収束せしめられる。この収束位置には、図17の装置で用いられたものと同様のファイバグレーティング23の一端面が配置されており、レーザービーム11はこのファイバグレーティング23に入射する。

## 【0095】

ファイバグレーティング23を伝搬したレーザービーム11の一部は、該ファイバグレーティング23の屈折率変化部において反射回折する。反射回折したレーザービーム11は、集光レンズ40を介して半導体レーザー10にフィードバックされ、そこでこの場合も図17の装置におけるのと同様の効果が得られることになる。

## 【0096】

一方、ファイバグレーティング23を伝搬してその他端面から出射したレーザービーム11は、集光レンズ41により集光されて光波長変換素子15に入射し、そこで第2高調波19に波長変換される。光波長変換素子15から発散光状態で出射した第2高調波19およびレーザービーム11は、コリメーターレンズ20によって平行光化され、第2高調波19が利用位置に導かれる。この第2高調波19をレーザービーム11から分離させるには、既に説明したようなものを適宜用いればよい。

## 【0097】

次に、図22を参照して、本発明の第19の実施形態について説明する。この第19の実施形態の光波長変換モジュールにおいては、コリメーターレンズ12によって平行光化されたレーザービーム11がビームスプリッタ45によって分岐される。すなわち、このビームスプリッタ45を透過したレーザービーム11は、図17の装置におけるのと同様にして光波長変換素子15に導かれる。他方、このビームスプリッタ45で反射したレーザービーム11はミラー46で反射した後、集光レンズ22で集光されてファイバグレーティング23に入射する。

## 【0098】

ファイバークレーティング23に入射してそこを伝搬したレーザービーム11は、該ファイバークレーティング23の屈折率変化部において反射回折する。反射回折したレーザービーム11は、ミラー46やビームスプリッタ45等を介して半導体レーザー10にフィードバックされ、そこでこの場合も図17の装置におけるのと同様の効果が得られる。

## 【0099】

なお、この実施形態においては、コリメーターレンズ12および集光レンズ22により、光波長変換素子15に入射する前のレーザービーム11を収束させる収束光学系が構成されている。

## 【0100】

次に、図23を参照して、本発明の第20の実施形態について説明する。この第20の実施形態の光波長変換モジュールは、前述した図21の光波長変換モジュールと比べると、ファイバークレーティング23に代えて、ファイバークップラを構成するファイバークレーティング50が用いられている点が異なるものである。このファイバークレーティング50は、屈折率変化部を有する第1のファイバー51と、該第1のファイバー51に結合された第2のファイバー52とからなるものである。

## 【0101】

上記第2のファイバー52に入射してそこを伝搬するレーザービーム11は、一部が両ファイバー51、52の結合部分において第1のファイバー51の方に移って、二系統に分岐される。第2のファイバー52を伝搬してその他端面から出射したレーザービーム11は、集光レンズ41により集光されて光波長変換素子15に入射し、そこで第2高調波19に波長変換される。光波長変換素子15から発散光状態で出射した第2高調波19およびレーザービーム11は、コリメーターレンズ20によって平行光化され、第2高調波19が利用位置に導かれる。この第2高調波19をレーザービーム11から分離させるには、既に説明したようなものを適宜用いればよい。

## 【0102】

一方、第1のファイバー51に移ったレーザービーム11は、該第1のファイバー51を伝搬してその屈折率変化部において反射回折する。反射回折したレーザービ

ーム11は、集光レンズ40を介して半導体レーザー10にフィードバックされ、そこで、この場合も図17の装置におけるのと同様の効果が得られることになる。

## 【0103】

次に、図24を参照して、半導体レーザー10の後方出射光を利用してその発振波長を選択、ロックするようにした本発明の第21の実施形態について説明する。この第21の実施形態の光波長変換モジュールにおいては、光波長変換素子15に向かわないレーザービーム11R（後方出射光）が、収束光学系としての集光ティング23に入射したレーザービーム11Rは、該ファイバグレーティング23の屈折率変化部において反射回折する。反射回折したレーザービーム11Rは、集光レンズ60を介して半導体レーザー10にフィードバックされ、そこでこの場合も図17の装置におけるのと同様の効果が得られる。

## 【0104】

また、以下に説明するように、本発明の光波長変換モジュールは、光波長変換素子から出射するレーザービームを強度変調する光変調手段を備えていてもよい。

## 【0105】

図25は、音響光学変調器（AOM）を用いた光変調手段が設けられた、本発明の第22の実施形態の光波長変換モジュールの概略側面図である。前述した図1の光波長変換モジュールと比べると光変調手段が設けられている点が異なるものである。図25に示すように、この光変調手段は、音響光学媒体101とこの音響光学媒体に振動を与えるためのトランスデューサー102とからなるAOM100と、トランスデューサー102に高周波信号を印加するための発振器103とからなり、発振器103は、外部電気信号が入力されるミキサー104およびRFアンプ105を介してトランスデューサー102に接続されている。

## 【0106】

図1の光波長変換モジュールを用いた場合と同様に光波長変換素子15から出射した第2高調波19は、集光レンズ31を介して音響光学媒体101内に入射し、発振器103から出力された100～200MHz程度の高周波信号によりトランスデューサー102が振動させられていない状態では、音響光学媒体101内を直進する。一方、高周

波信号によりトランスデューサー102が振動させられると、トランスデューサー102から超音波が発生し、この超音波により音響光学媒体101内の屈折率分布が変化して回折格子が形成され、この回折格子により音響光学媒体101内に入射した第2高調波19が回折される。

#### 【0107】

この回折の効率 $\eta$ 、従って光の強度はトランスデューサー102から発生する超音波の強度に応じて変化する。したがって、トランスデューサー102に加えられる電気信号の電圧レベルを制御して高周波信号を振幅変調すれば、この電気信号の振幅に応じて回折効率 $\eta$ が変化するから、レーザービームを強度変調することができる。例えば、高周波信号を振幅0と所定の振幅のいずれかをとるように振幅変調すれば被変調光はON-OFF変調され、高周波信号を連続的に振幅変調すれば被変調光は連続的に強度変調される。

#### 【0108】

上記第22の実施形態では、波長変換後に強度変調する光変調手段を備えた光波長変換モジュールの例を示したが、強度変調後に波長変換を行うこともできる。このような強度変調の方法として、半導体レーザーの駆動電流を変化させることにより半導体レーザーから発せられた基本波を強度変調する方法がある。

#### 【0109】

半導体レーザーは電流駆動型デバイスであり、電流量を増減することにより半導体レーザーの出力光量を制御し、波長変換光の出力光量を任意に調整することができる。従来、半導体レーザーの駆動電流を変化させた場合には、半導体レーザーの波長変動により第2高調波の出力が変動するという問題があり、半導体レーザーを光源として用いた光波長変換素子においては、半導体レーザーの駆動電流を変化させることによる強度変調の方法は採用されていなかった。

#### 【0110】

本発明の光波長変換モジュールにおいては、半導体レーザーの発振波長がロックされているため、半導体レーザーの駆動電流を変化させることによる強度変調の方法を採用することができ、前述した通り、第2高調波の強度は基本波であるレーザービームの強度の2乗に比例するから、半導体レーザーの出力光量範囲が

18 d B のとき、第 2 高調波の出力光量範囲は 36 d B となり、銀塩写真感光材料において高画質の写真画像を得るために一般に必要とされる 25 d B 以上の広い光量範囲（ダイナミックレンジ）が確保される。

【0 1 1 1】

次に、本発明の光走査記録装置について説明する。

【0 1 1 2】

従来、光ビームを画像信号に基づいて変調するとともに、この変調された光ビームを、例えば、感光記録材料上において走査することにより、画像信号が担持する画像を感光記録材料に記録する光走査記録装置が知られている。この種の光走査記録装置においては、光ビームを画像信号に基づいて変調することが必要であり、上記の光変調手段を備えた光波長変換モジュールをその光源として用いることができる。

【0 1 1 3】

特に、半導体レーザーを波長ロックするとともに、その駆動電流を変化させることにより半導体レーザーから発せられた基本波を強度変調する方法を用いた場合には、上述の通り、第 2 高調波のダイナミックレンジを広く取ることができ、より高階調の画像を記録することが可能になる。

【0 1 1 4】

図 2 6 は、本発明の光走査記録装置の斜視形状を示すものである。図示されるように、この光走査記録装置は、光変調および光波長変換を行なう青色記録光用の光波長変換モジュール 201 と、光変調および光波長変換を行なう緑色記録光用の光波長変換モジュール 202 と、赤色記録光用の半導体レーザー 203 と、記録光を記録材料上で走査させる光走査部 205 と、を有している。

【0 1 1 5】

青色記録光用の光波長変換モジュール 201 および緑色記録光用の光波長変換モジュール 202 として、上記半導体レーザーの駆動電流を変化させることによる光変調手段が設けられた光波長変換モジュールを使用した。この光波長変換モジュール 201 および 202 において、光源である半導体レーザーの駆動電流をそれぞれカラーの連続調画像の青色情報を担う画像信号、緑色情報を担う画像信号に基づい



て直接制御することにより、半導体レーザーから出射するレーザービームを強度変調することができ、ひいては青色の第2高調波222および緑色の第2高調波223を強度変調することができる。

## 【0116】

光走査部205は、上記青色の第2高調波222と、緑色の第2高調波223と、赤色の記録光224とが入射するように配置された主走査手段としての回転多面鏡（ポリゴンミラー）241と、この回転多面鏡241により反射偏向された光222、223および224をその偏向角にかかわらず所定の走査面上で収束させるf $\theta$ レンズ242と、カラーの感光性記録材料240を矢印y方向に定速で搬送する副走査手段243とから構成されている。回転多面鏡241により反射偏向された上記3色の光222、223および224は、記録材料240上を、矢印y方向とほぼ直交する矢印x方向に主走査する。それとともに記録材料240が副走査手段243により上記のように搬送されて、副走査がなされる。

## 【0117】

赤色の記録光224も、カラーの連続調画像の赤色情報を担う画像信号に基づいて赤色記録光用の半導体レーザー203の駆動電流を制御することにより強度変調されている。これらの青色の第2高調波222、緑色の第2高調波223、および赤色の記録光224が上述のようにして記録材料240上を2次元的に走査することにより、記録材料240にはカラーの連続調画像が記録される。

## 【0118】

この構成の光走査記録装置を用い、実際に、銀塩写真感光材料にカラー画像を記録した。青色の記録光222は、光源として発振波長950nm、出力300mWの横シングルモードの半導体レーザーを用い、全長4mm、周期ピッチ4.7 $\mu$ mのMgOが5mol%ドーピングされたLiNbO<sub>3</sub>バルク型周期反転ドメイン結晶からなる光波長変換素子を用いて、発振波長475nm、出力1mWで発振させた。緑色の記録光223は、光源として発振波長1064nm、出力300mWの横シングルモードの半導体レーザーを用い、全長5mm、周期ピッチ6.97 $\mu$ mのMgOが5mol%ドーピングされたLiNbO<sub>3</sub>バルク型周期反転ドメイン結晶からなる光波長変換素子を用いて、発振波長532nm、出力0.9mWで発振させた。赤色の記録光224は、発振波長670nm、出力10mWの半導

体レーザーから直接発振させた。得られた画像は高階調の連続調画像であった。

【0 1 1 9】

本実施形態では、記録光である第2高調波を画像信号に基づいて強度変調することとしたが、強度変調に代えてパルス幅変調としても良い。

【0 1 2 0】

また、波長変換素子の波長変換効率、基本波すなわち半導体レーザーのパワー密度の二乗に比例する。このため、半導体レーザーのパワーが同一の場合、連続波(CW)で駆動するよりも高周波で駆動する方が結果として高い変換効率を得ることができる。

【0 1 2 1】

高周波の周波数は、記録画像の変調周波数に近いと不要信号となるため、記録画像の変調周波数より高くすることが必要である。画像信号の周波数の上限が例えば10MHzであるとする高周波の周波数はその10倍の100MHz以上とすることが好ましい。このような周波数とすることで、高周波成分が1つの画素の中で振動成分となり分解することはできないため実用上全く問題が無い。周波数の上限は、1GHz程度と半導体レーザー応答速度と同等の周波数まで高くすることができる。

【0 1 2 2】

高周波の駆動波形は、サイン波形でもパルス波形でもよい。パルス波形とする場合には、パルス幅が狭いパルス波形の方が尖頭値が高く、先に述べた二乗効果が顕著になって波長変換素子の波長変換効率を上げるため、パルス幅が狭いパルス波形とすることが好ましい。

【0 1 2 3】

半導体レーザーの強度変調あるいはパルス幅変調を行う場合には、画像信号に、例えば100MHzの高周波信号を重畳させて、半導体レーザーを駆動させることになる。

【0 1 2 4】

なお、本例では、総ての半導体レーザーを直接強度変調することとしたが、半導体レーザーの一部または全部を、前記AOMを用いた光変調手段等を用いて外

部変調するようにしてもよい。

【0 1 2 5】

なお、本例では、青色の記録光222および緑色の記録光223にのみ第2高調波を使用し、赤色の記録光224用の光源としては半導体レーザーを光波長変換手段と組み合わせずにそのまま用いたが、青色の記録光222にのみ第2高調波を使用し、緑色の記録光223および赤色の記録光224用の光源として半導体レーザーを光波長変換手段と組み合わせずにそのまま用いることもできる。しかしながら、カラー画像を記録する場合、赤色の記録光224についても基本的に第2高調波222と同等のダイナミックレンジが確保されることが好ましく、赤色の記録光224も、所定波長の各基本波を波長変換して得た第2高調波とし、そして波長変換の前にこれらの基本波を変調するように構成することが好ましい。

【0 1 2 6】

なお、本発明の光走査記録装置は、カラー画像に限らず、モノクロ画像を記録するように構成することも可能である。その場合でも、記録光のダイナミックレンジを大きく確保して、高階調の連続調画像を記録できるという効果が同様に得られる。

【0 1 2 7】

【発明の効果】

本発明によれば、半導体レーザーの発振波長を正確にロックし、波長変換後の光を安定して発振させることができるバルク型波長変換結晶からなる光波長変換素子を用いた光波長変換モジュールが提供される。また、バルク型波長変換結晶からなる光波長変換素子を用いた高出力の光波長変換モジュールが提供される。また、さらに波長変換光の強度を変調する光変調手段を備えた光波長変換モジュールが提供される。また、本発明の光波長変換モジュールを用い、記録光のダイナミックレンジを極めて大きく取ることができて、高階調の画像を記録できる光走査記録装置が提供される。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施形態による光波長変換モジュールを示す概略側面図である。

【図 2】 上記第 1 実施形態の光波長変換モジュールに用いられた光波長変換素子を作成する様子を示す概略斜視図である。

【図 3】 本発明の第 2 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略側面図である。

【図 4】 本発明の第 3 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略側面図である。

【図 5】 本発明の第 4 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略側面図である。

【図 6】 本発明の第 4 実施形態による光波長変換モジュールにおいて、半導体レーザーの駆動電流に対し基本波及び第 2 次高調波の出力光量をプロットしたグラフである。

【図 7】 本発明の第 5 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略側面図である。

【図 8】 本発明の第 6 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略側面図である。

【図 9】 本発明の第 7 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略側面図である。

【図 1 0】 本発明の第 8 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略側面図である。

【図 1 1】 本発明の第 9 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略側面図である。

【図 1 2】 本発明の第 1 0 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略側面図である。

【図 1 3】 本発明の第 1 1 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略側面図である。

【図 1 4】 本発明の第 1 2 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略側面図である。

【図 1 5】 本発明の第 1 3 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略側面図である。

【図 1 6】本発明の第 1 4 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略側面図である。

【図 1 7】本発明の第 1 5 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略側面図である。

【図 1 8】上記第 1 5 実施形態による光波長変換モジュールの要部を示す概略側面図である。

【図 1 9】本発明の第 1 6 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略側面図である。

【図 2 0】本発明の第 1 7 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略側面図である。

【図 2 1】本発明の第 1 8 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略側面図である。

【図 2 2】本発明の第 1 9 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略側面図である。

【図 2 3】本発明の第 2 0 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略側面図である。

【図 2 4】本発明の第 2 1 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略側面図である。

【図 2 5】本発明の第 2 2 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略側面図である。

【図 2 6】本発明の光走査記録装置を示す概略斜視図である。

【符号の説明】

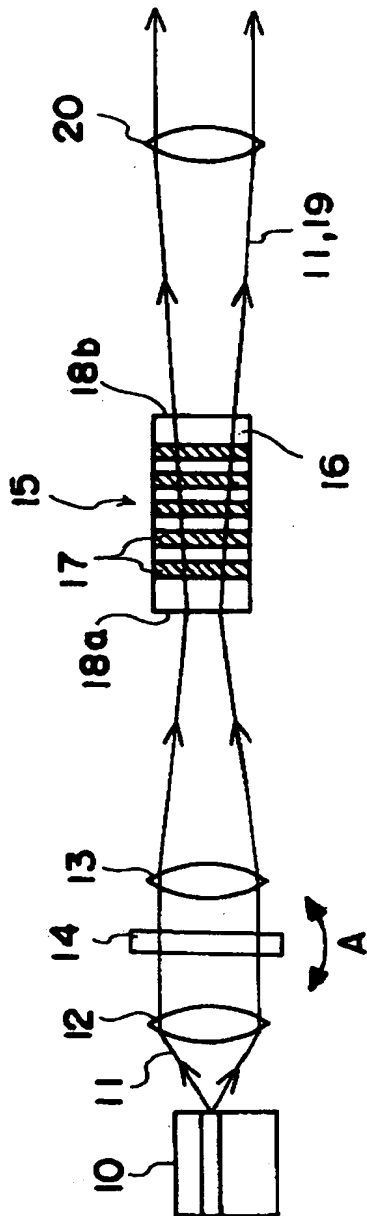
- 4            コロナワイヤー
- 7            アース
- 8            電源
- 10           半導体レーザー
- 10 a、10 b 半導体レーザーの端面
- 11           レーザービーム（基本波）
- 11 R        レーザービーム（後方出射光）

- 12            コリメーターレンズ
- 13            集光レンズ
- 14            狭帯域バンドパスフィルター
- 15            光波長変換素子
- 16            MgO-LN 結晶基板
- 17            ドメイン反転部
- 18 a、18 b 光波長変換素子の端面
- 19            第 2 高調波
- 20            コリメーターレンズ
- 21            ダイクロイックミラー
- 22            集光レンズ
- 23            ファイバーグレーティング
- 23 a          ファイバーグレーティングのコア端面
- 23 b          ファイバーグレーティングのクラッド
- 23 c          ファイバーグレーティングのコア
- 30            ダイクロイックミラー
- 31            集光レンズ
- 33            ファイバーグレーティング
- 34            第 1 のファイバー
- 35            第 2 のファイバー
- 40、41       集光レンズ
- 45            ビームスプリッタ
- 46            ミラー
- 50            ファイバーグレーティング
- 51            第 1 のファイバー
- 52            第 2 のファイバー
- 60            集光レンズ
- 80            周期電極
- 81            周期電極の対向部分

82	ビームスプリッタ
84	集光レンズ
85	ミラー
86	コリメーターレンズ
90	透過型バルクグレーティング
91	透過型狭帯域薄膜バンドパスフィルター
92	反射型バルクグレーティング
95	反射型狭帯域薄膜バンドパスフィルター
100	音響光学変調器 (AOM)
101	音響光学媒体
102	トランスデューサー
103	発振器
104	ミキサー
105	RF アンプ
201	青色記録光用の光波長変換モジュール
202	緑色記録光用の光波長変換モジュール
203	赤色記録光用の半導体レーザー
205	光走査部
222	青色の第 2 高調波
223	緑色の第 2 高調波
224	赤色の記録光
240	記録材料
241	回転多面鏡 (ポリゴンミラー)
242	f $\theta$ レンズ
243	副走査手段

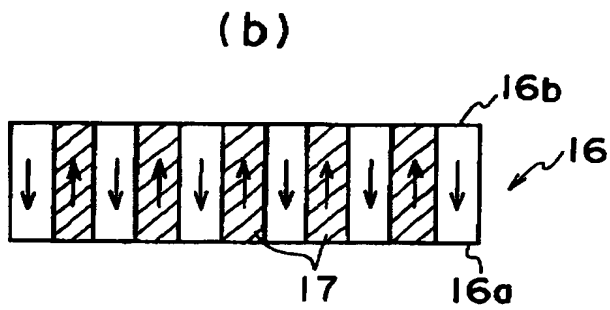
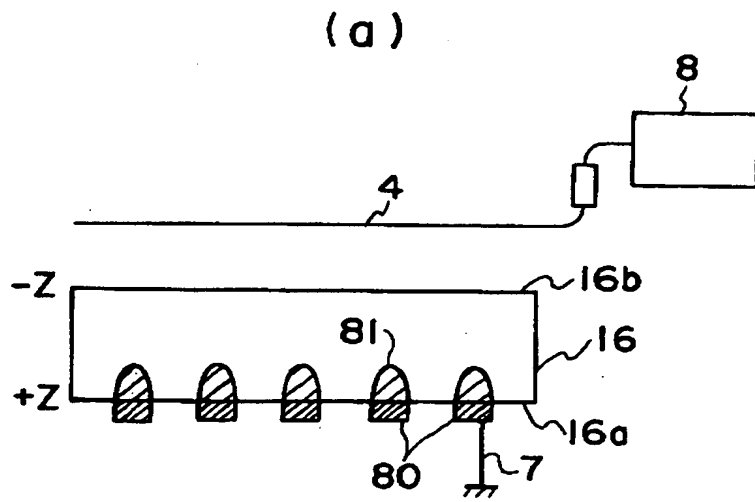
【書類名】 図面

【図 1】

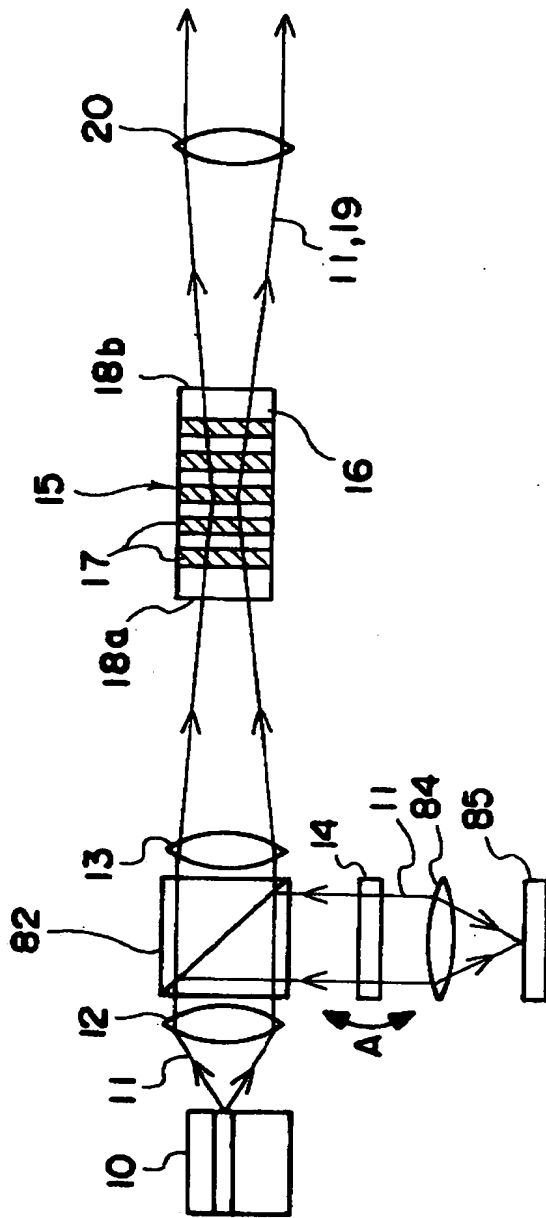




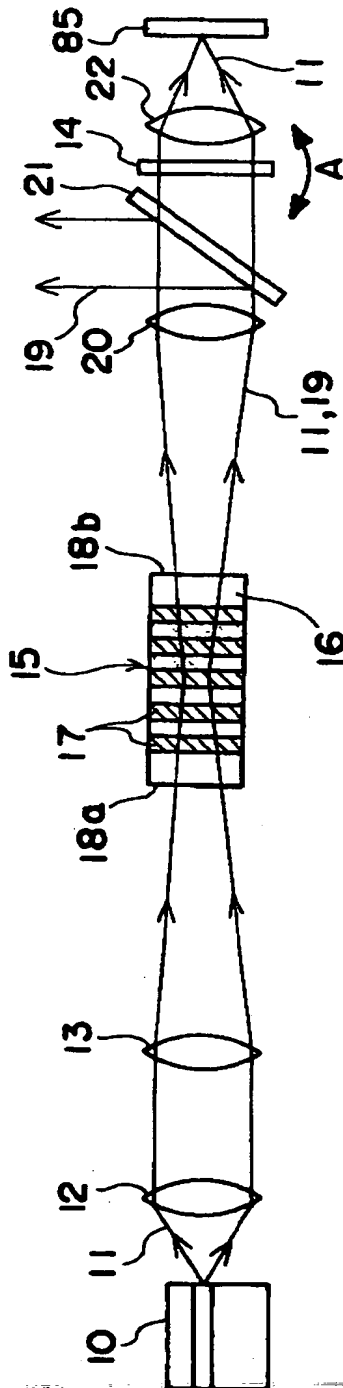
【图 2】



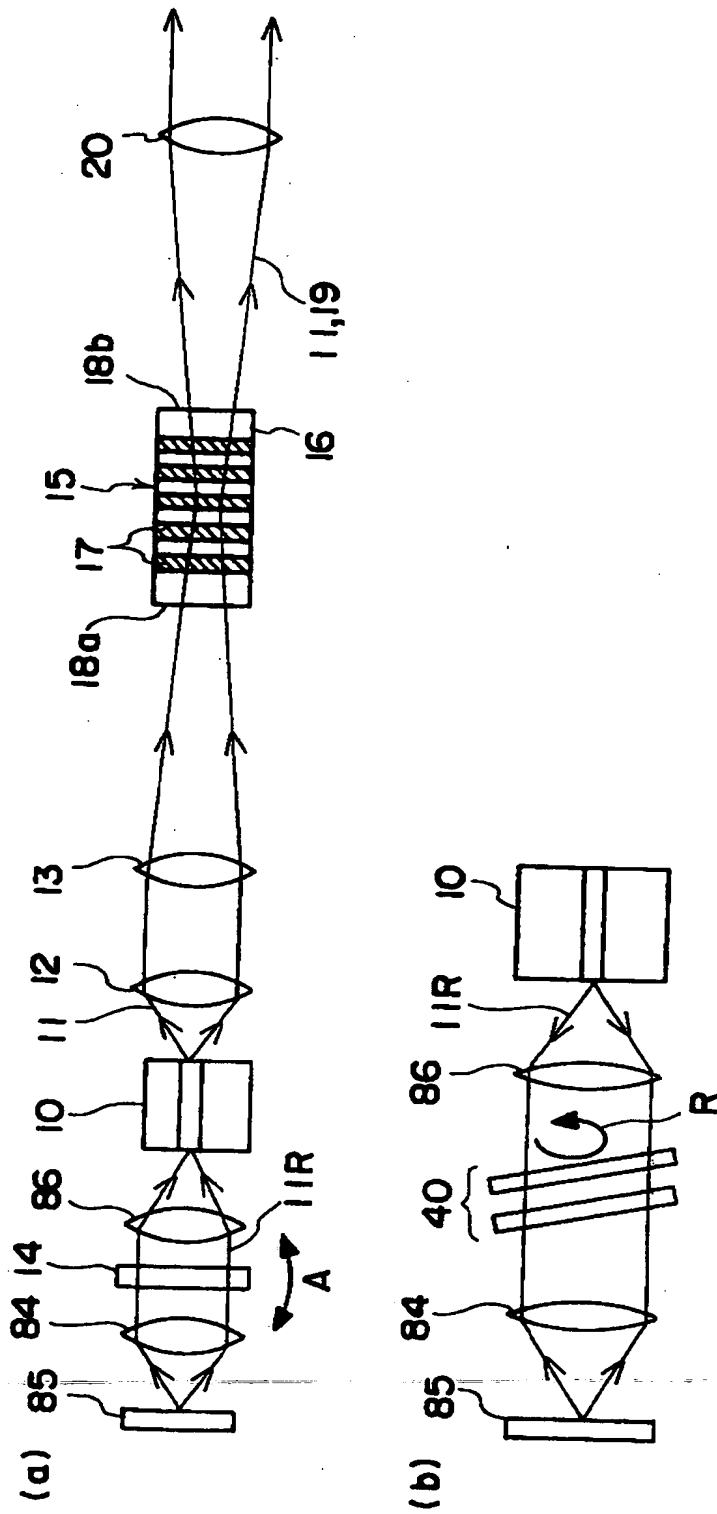
【図 3】



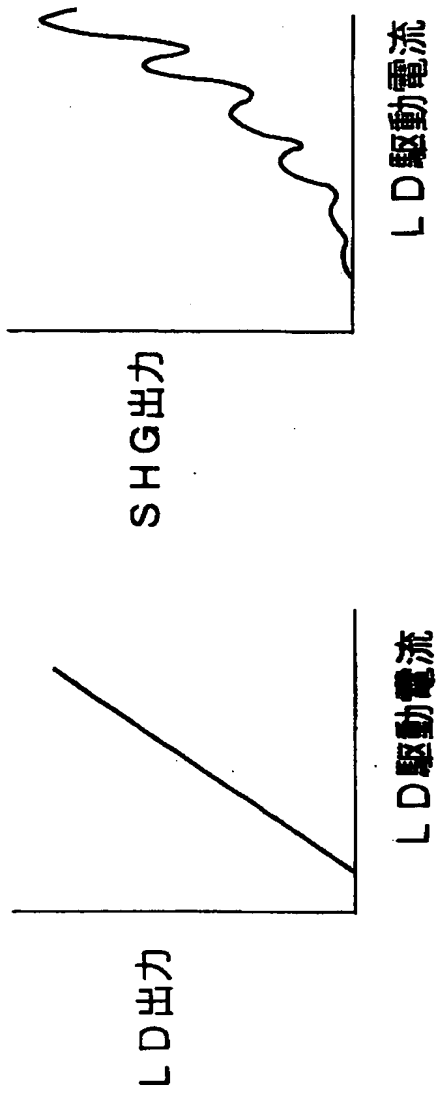
【図 4】



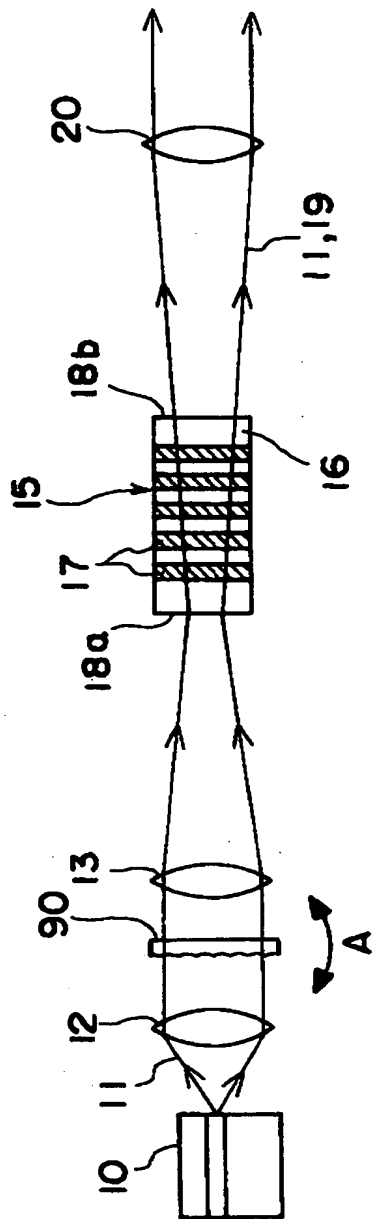
【図 5】



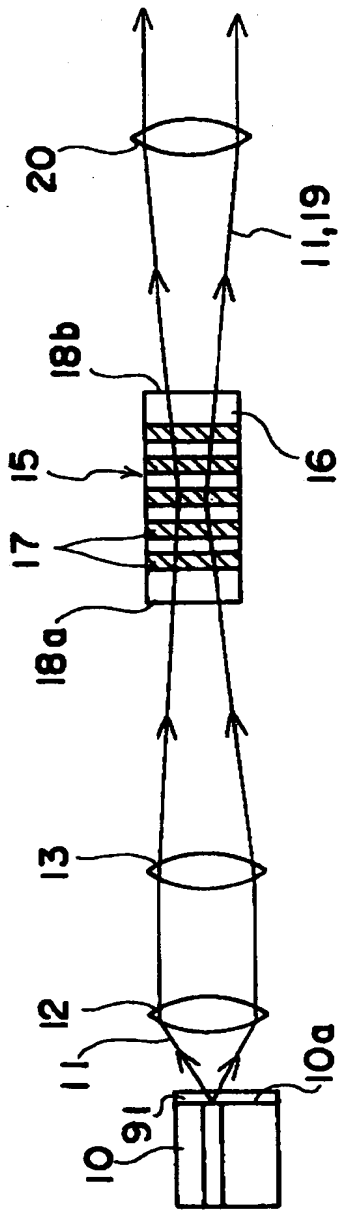
【図 6】



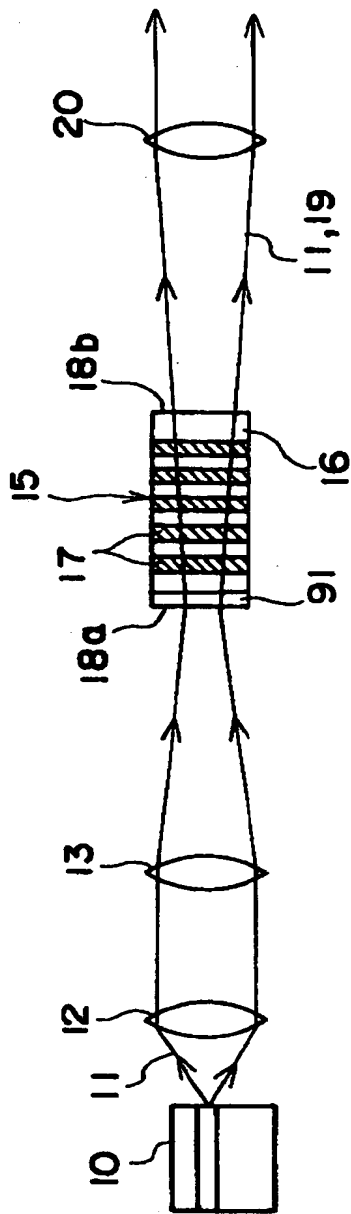
【図 7】



【图 8】

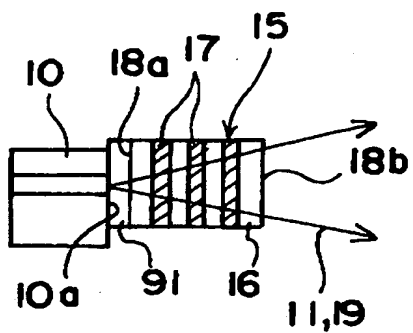


【図 9】

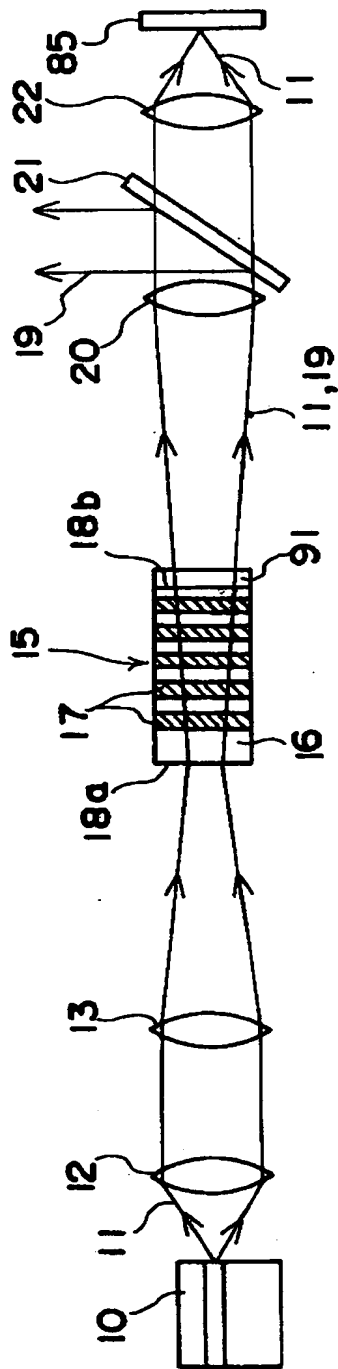




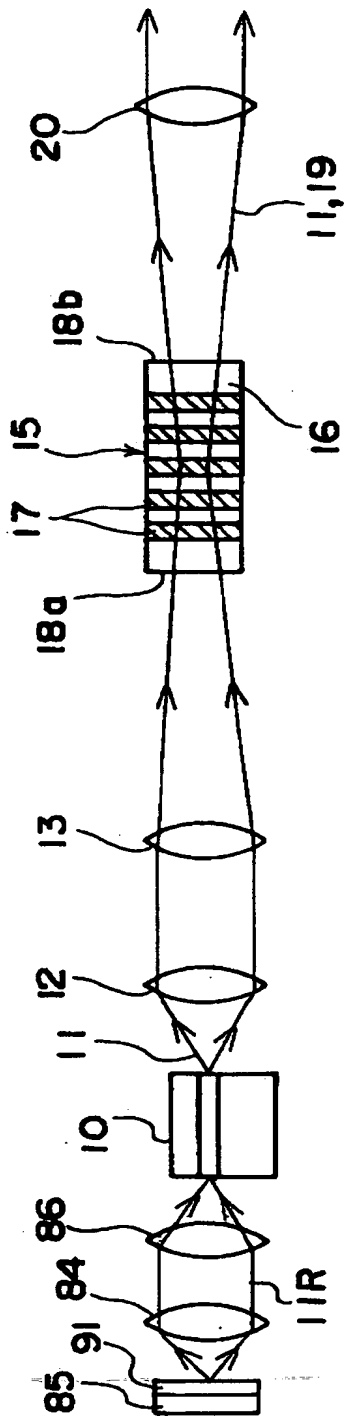
【図10】



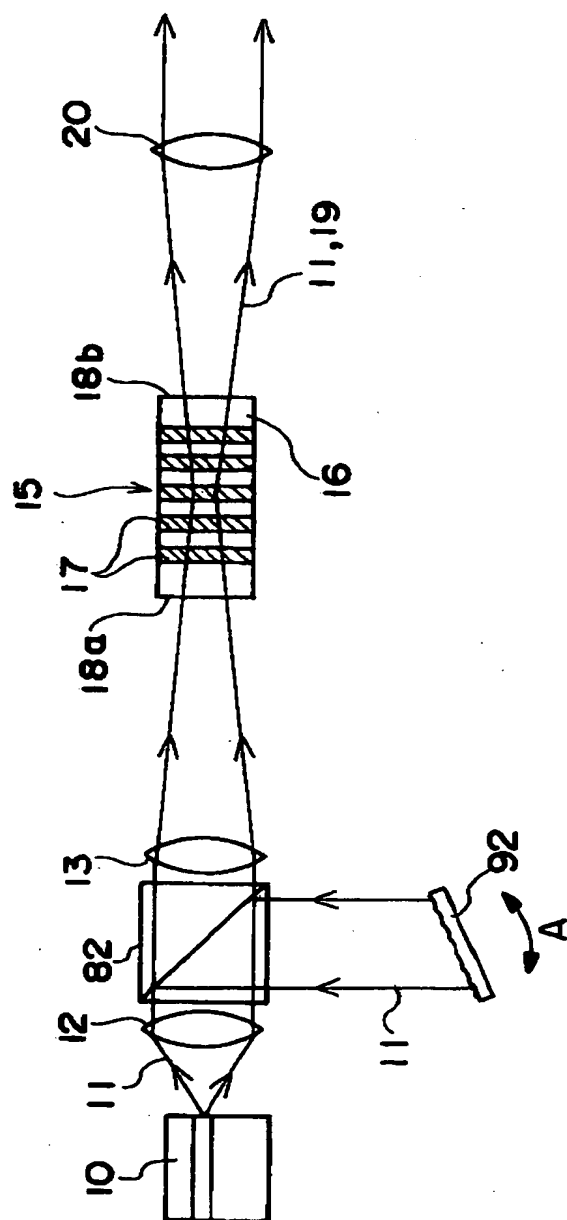
【図 1 1】



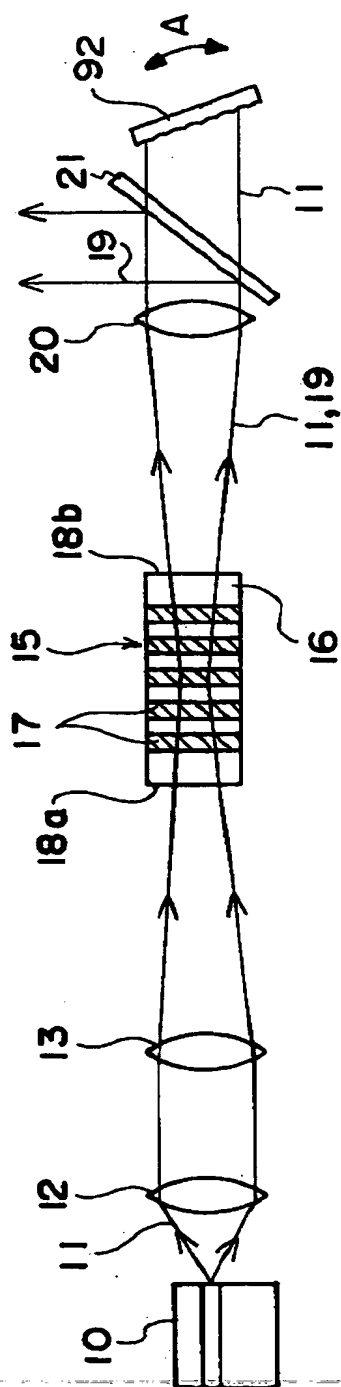
【図 1 2】



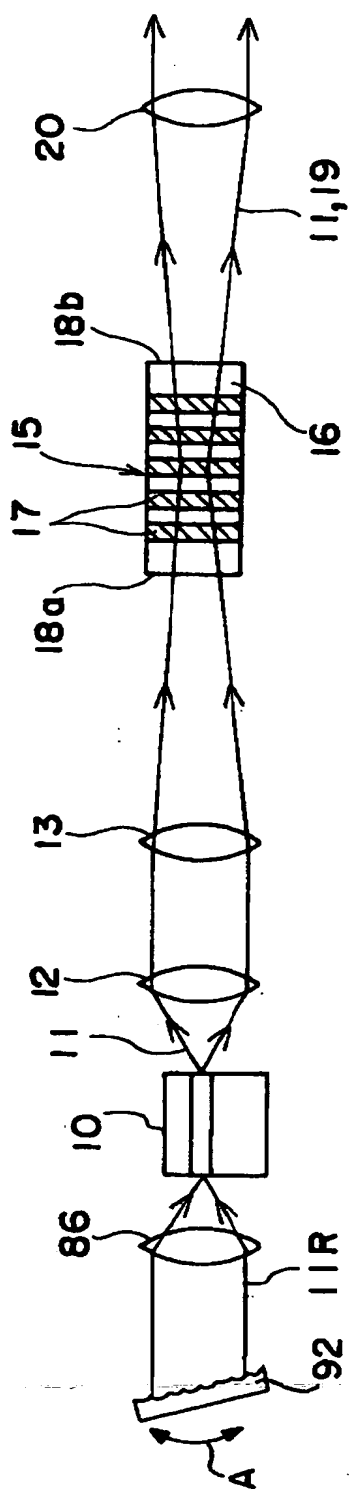
【図 1 3】



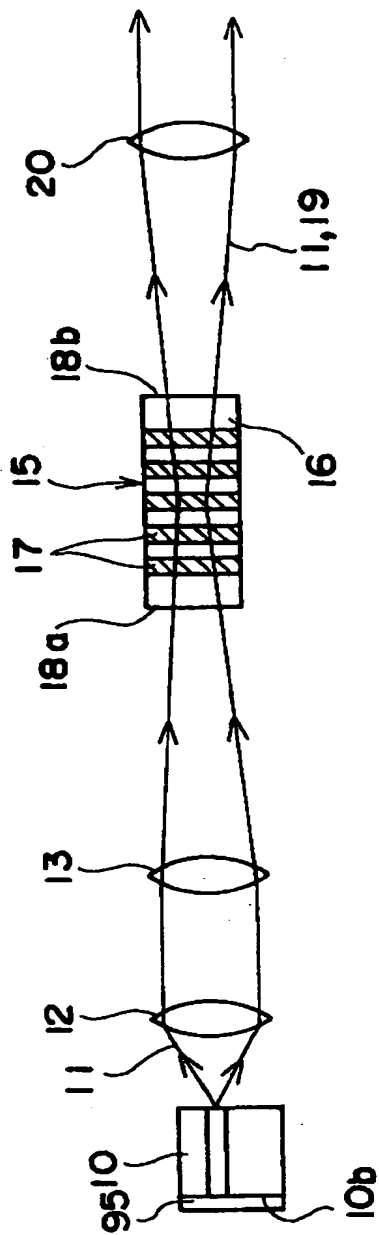
【图 1 4】



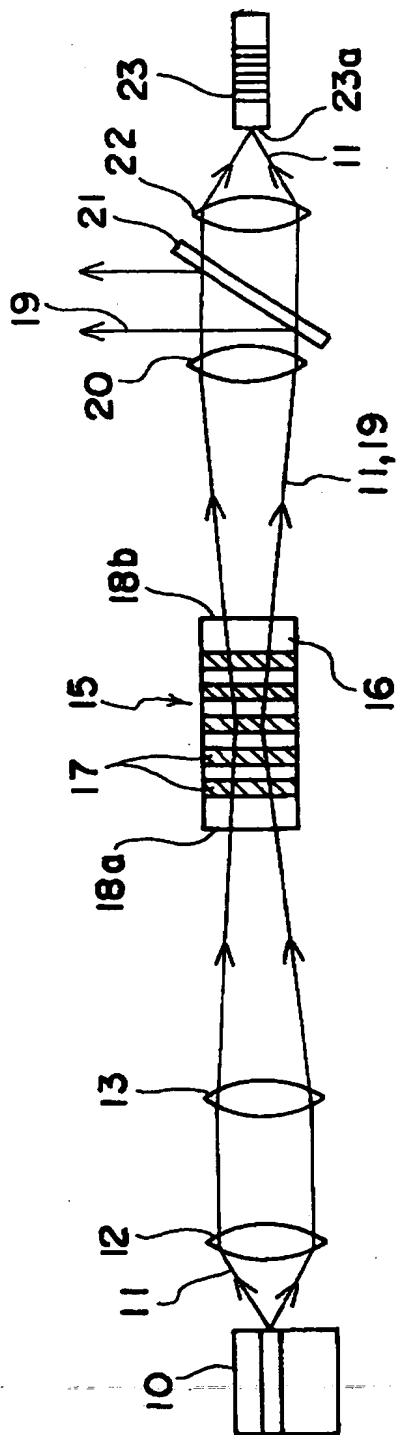
【図 1 5】



【図 1 6】

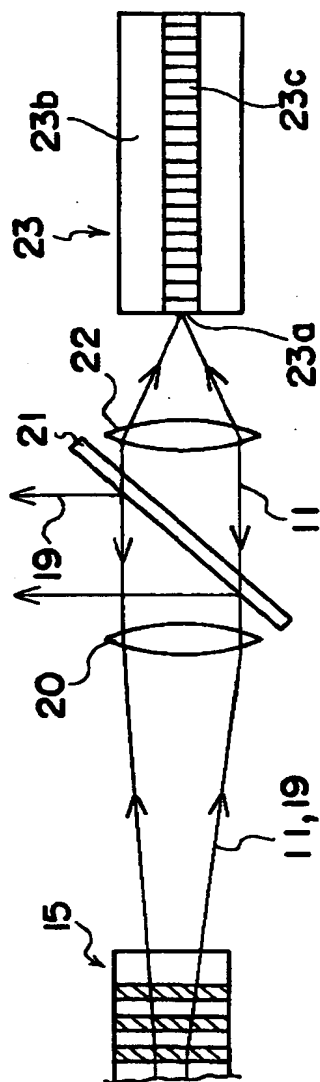


【図 1 7】

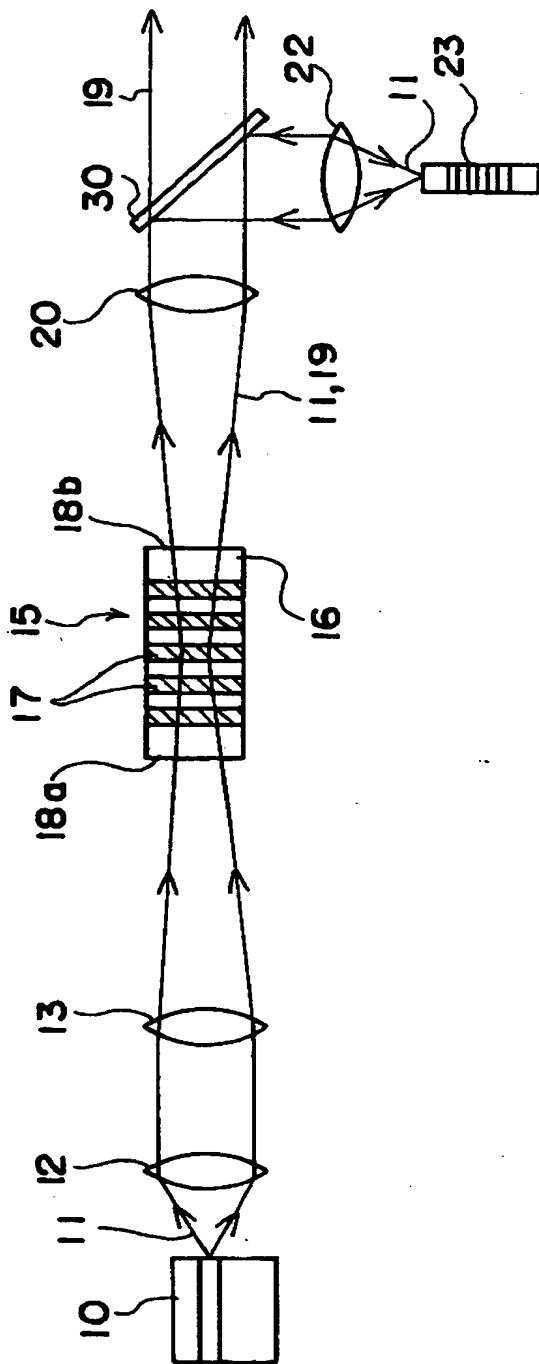




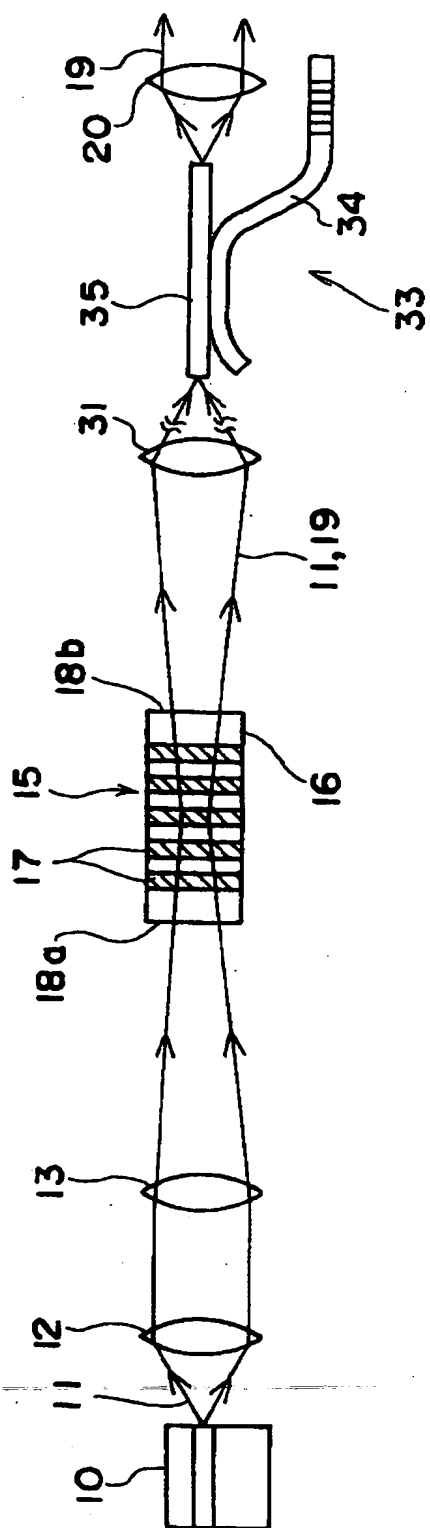
【図 1 8】



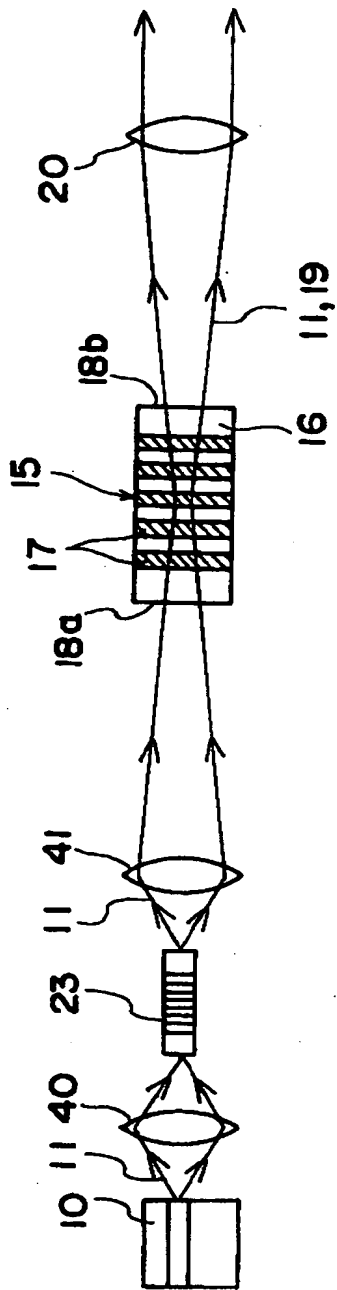
【図 1 9】



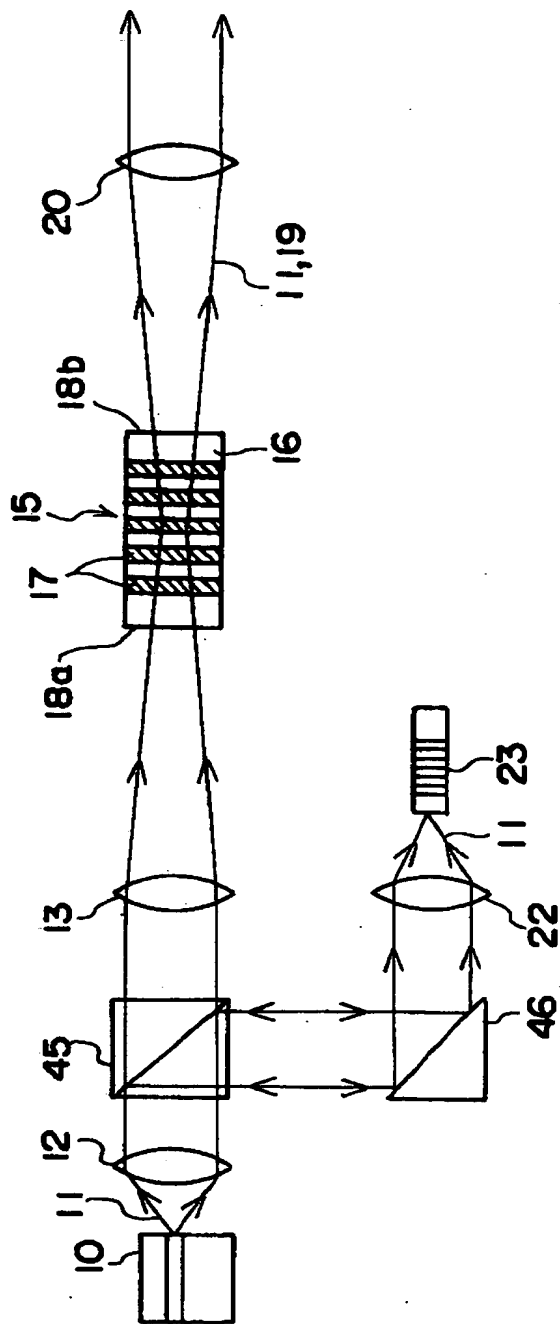
【図 20】



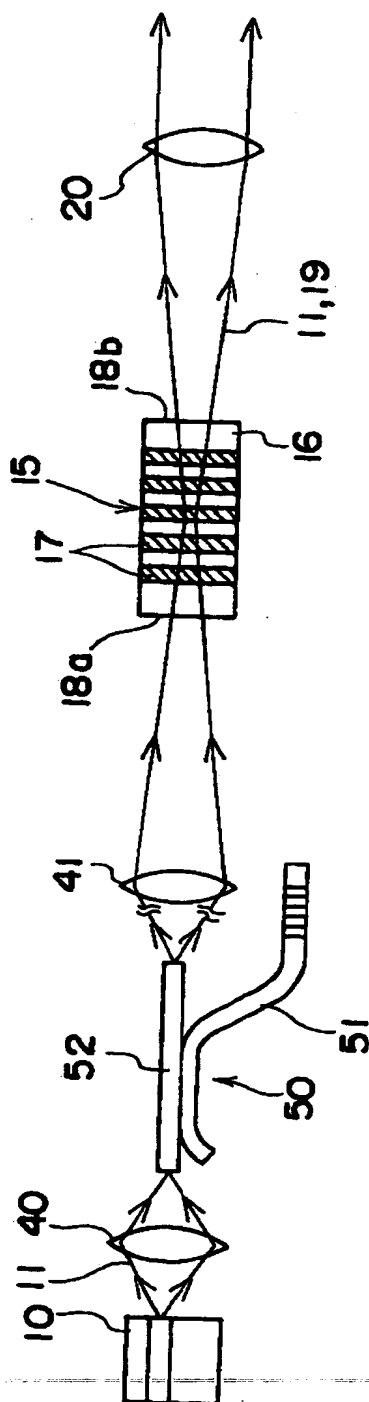
【图 2 1】



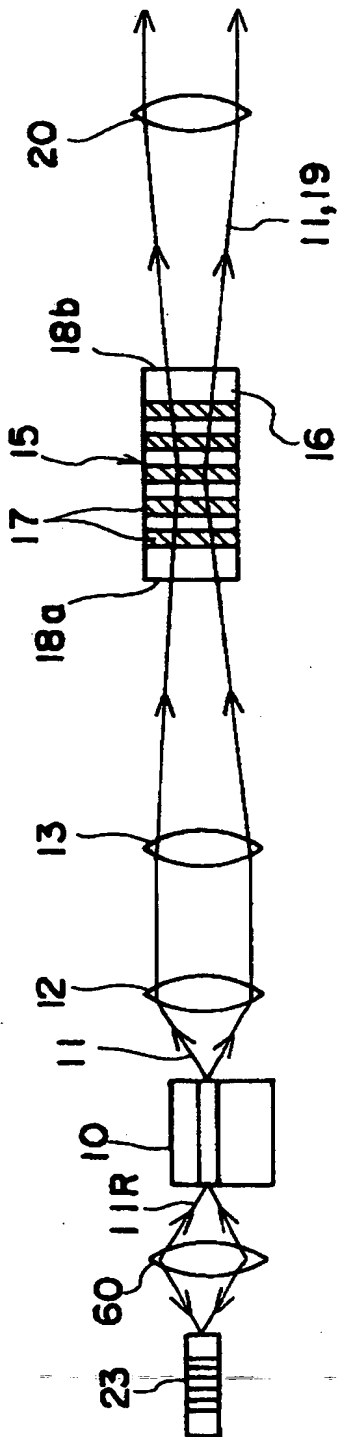
【図 2 2】



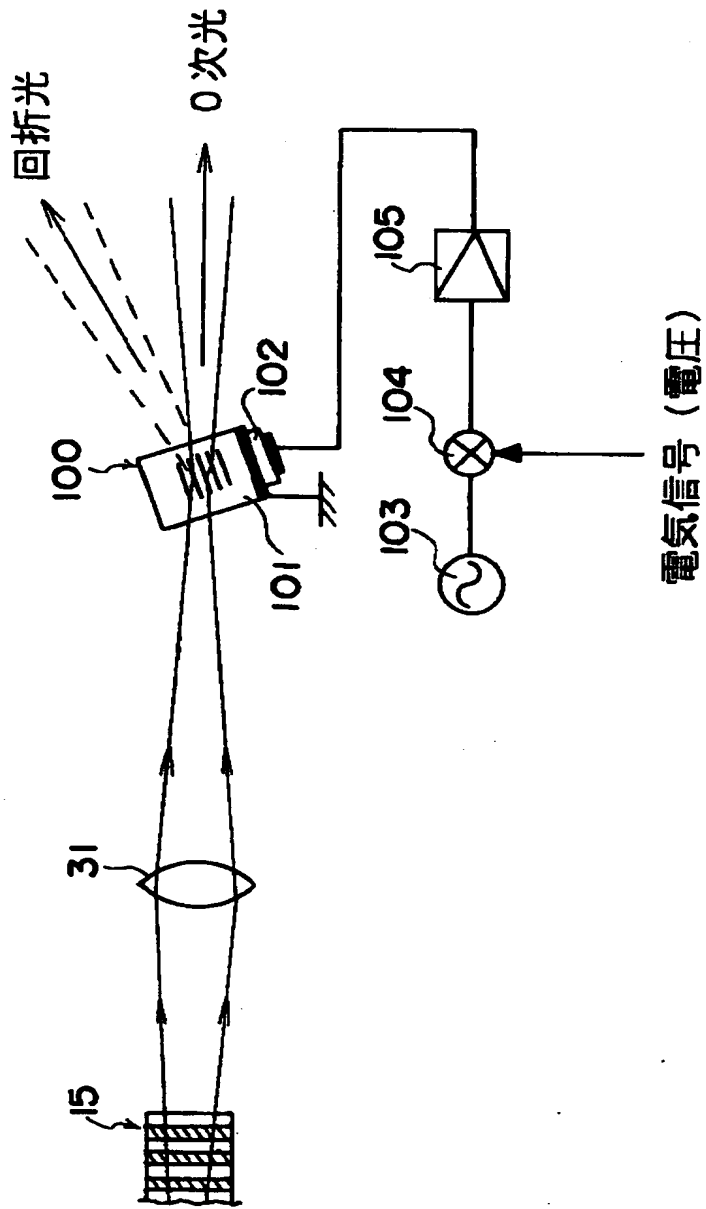
【図 2 3】



【図 2 4】

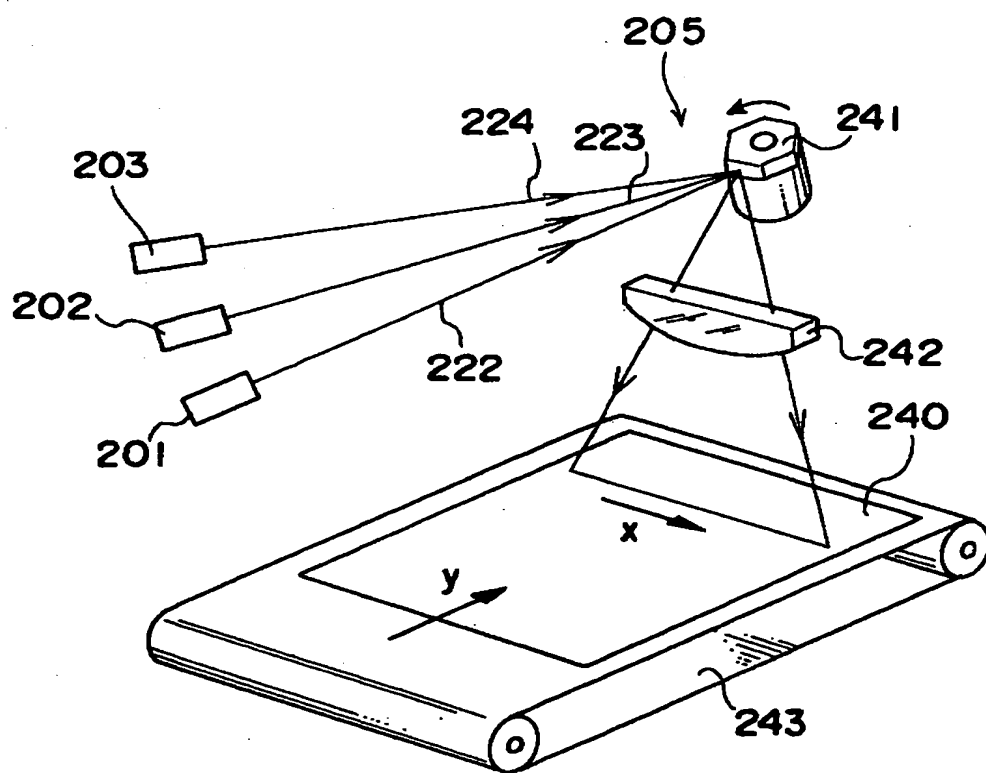


【图 2 5】





【図 2 6】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 バルク型波長変換結晶からなる光波長変換素子により半導体レーザーから発せられたレーザービームを波長変換する光波長変換モジュールにおいて、半導体レーザーの発振波長を正確にロックし、波長変換後の光を安定して発振させる。

【解決手段】 半導体レーザー10とバルク型波長変換結晶からなる光波長変換素子15との間に、狭域体バンドパスフィルター等の波長選択光学素子14を設け、この波長選択光学素子14により、光波長変換素子15の端面18aで反射して半導体レーザー10にフィードバックするレーザービーム11の波長を選択する。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[000005201]

1. 変更年月日	1990年 8月14日
[変更理由]	新規登録
住 所	神奈川県南足柄市中沼210番地
氏 名	富士写真フイルム株式会社